

Amarre de buques en reparación: Actuación ante alertas meteorológicas

Autor: Damián Cid Bacorelle

Tesis doctoral UDC / Año 2014

Director: Santiago Iglesias Baniela

Tutor: Santiago Iglesias Baniela

Programa de doutoramento de **ENXEÑARÍA MARÍTIMA**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



SANTIAGO IGLESIAS BANIELA, Titular de Universidad, Profesor de la UDC perteneciente al Departamento de Ciencias de la Navegación y de la Tierra y con docencia en la ETS de Náutica y Máquinas,

A U T O R I Z A

A **Damián Cid Bacorelle** con NIF 32639798S, a la presentación para depósito y defensa de la Tesis, bajo su dirección, titulada: **AMARRE DE BUQUES EN REPARACIÓN: ACTUACIÓN ANTE ALERTAS METEOROLÓGICAS.**

A Coruña a 4 de julio de 2014

Vº Bº

El Director,

-Santiago Iglesias Baniela-



Departamento de Energía y Propulsión Marina

E.T.S Náutica y Máquinas

TESIS DOCTORAL

**Amarre de buques en reparación: Actuación ante alertas
meteorológicas**

A Coruña a 04 de julio de 2014

El Doctorando,

El Director,

-Damián Cid Bacorelle-

-Santiago Iglesias Baniela-

RESUMO

A estancia a flote dun buque para a realización de tarefas de reparación constitúe un escenario diferente do habitual caracterizado por un amparo lexislativo difuso. Non obstante, as importantes consecuencias que poderían derivarse dunha rotura de amarras, tanto dende o punto de vista de Prevención de Riscos Laborais coma de deterioración de imaxe, obrigan á instalación portuaria a avaliar riscos e a definir aquelas accións mitigadoras e de continxencia que propicien a súa redución ata niveis aceptables.

A presente Tese trata de responder a esta necesidade no Estaleiro de Navantia Ría de Ferrol tendo en conta as súas condicións particulares, definidas polas características específicas dos buques reparados, as calidades dos seus peiraos e a súa exposición aos axentes naturais que puidesen orixinar un sinistro deste tipo.

Para iso, resultou necesario desenvolver estudos históricos que permitisen a súa definición así como deseñar unha ferramenta de cálculo de resistencia das disposicións de amarre aplicable a calquera tipo ou tamaño de buque.

Considérase que a mellora do proceso de recepción de alertas meteorolóxicas proposto e os procedementos que conforman a guía básica de actuación, permitirán afrontar un episodio de tales características cun respaldo apropiado.

RESUMEN

La estancia a flote de un buque para la realización de tareas de reparación constituye un escenario diferente del habitual caracterizado por un amparo legislativo difuso. Sin embargo, las importantes consecuencias que podrían derivarse de una rotura de amarras, tanto desde el punto de vista de Prevención de Riesgos Laborales como de deterioro de imagen, obligan a la instalación portuaria a evaluar riesgos y a definir aquellas acciones mitigadoras y de contingencia que propicien su reducción hasta niveles aceptables.

La presente Tesis trata de responder a esta necesidad en el Astillero de Navantia Ría de Ferrol teniendo en cuenta sus condiciones particulares, definidas por las características específicas de los buques reparados, las cualidades de sus muelles y su exposición a los agentes naturales que pudieran originar un siniestro de este tipo.

Para ello, ha resultado necesario desarrollar estudios históricos que permitieran su definición así como diseñar una herramienta de cálculo de resistencia de las disposiciones de amarre aplicable a cualquier tipo o tamaño de buque.

Se considera que la mejora del proceso de recepción de alertas meteorológicas propuesto y los procedimientos que conforman la guía básica de actuación, permitirán afrontar un episodio de tales características con un respaldo apropiado.

ABSTRACT

The stay of a vessel moored at a port to carry out repair works is different from the usual scenario, characterized by a dim legislative coverage. However, the important consequences that could result from the breaking of a mooring, both from the safety and image damage point of view, force the port facility to assess the existing risks and to define mitigation and contingency actions which contribute to reduce them to acceptable levels.

This thesis attempts to answer this need in “Navantia Ferrol Estuary” shipyard taking into account its specific conditions, defined by the different characteristics of the vessels repaired, the particulars of its berths and their exposure to the natural agents that could result in the event of such an incident.

It has therefore been necessary to develop historical studies in order to define them, as well as to design a specific tool to calculate the resistance of mooring arrangements applicable to any type or size of vessel.

It is considered that the proposed improvement of the receipt process for weather alerts and the application of the procedures which form the basic action guide, will allow to confront an episode of such characteristics with appropriate support.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxv
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xxxi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 MARCO REFERENCIAL.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3 HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS.....	8
1.4 METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....	9
1.5 CONTENIDO.....	13
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	19
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 NAVANTIA REPARACIONES RÍA DE FERROL.....	21
2.3 FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UN BUQUE.....	27
2.4 PRINCIPIOS DE AMARRE.....	30
2.5 CABOS.....	33
2.5.1 CABOS DE ALAMBRE.....	34
2.5.2 CABOS SINTÉTICOS.....	41
2.4.3 CALABROTES.....	46
2.6 MAQUINILLAS DE AMARRE.....	50
2.7 ELEMENTOS FIJOS DEL AMARRE.....	61
CAPÍTULO III: LA ESTANCIA SEGURA DEL BUQUE EN PUERTO: DELIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES.....	67
3.1 INTRODUCCIÓN.....	69
3.2 EL AMARRE EN LAS TERMINALES PETROLÍFERAS Y DE GAS.....	72
3.3 EL AMARRE EN UN PUERTO COMERCIAL: LA ADMINISTRACIÓN MARÍTIMA ESPAÑOLA.....	77
3.3.1 LEY DE PUERTOS DEL ESTADO Y DE LA MARINA MERCANTE.....	79
3.3.2 LA COMISIÓN PERMANENTE DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES E INCIDENTES MARÍTIMOS.....	84
3.4 INVESTIGACIONES DE ACCIDENTES: LECCIONES APRENDIDAS.....	86
3.4.1 ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES.....	87

3.4.2	LECCIONES APRENDIDAS	97
3.5	EL BUQUE DURANTE LA REPARACIÓN	99
3.5.1	La OCIMF: TRABAJOS EN EL ASTILLERO	100
3.5.2	LOS CONTRATOS DE REPARACIÓN	101
3.5.2.1	Condiciones generales	101
3.5.2.2	Documentos puente	103
3.5.3	OTROS ASPECTOS JURÍDICOS DE INTERÉS	104
3.5.4	RESUMEN DE OBLIGACIONES	106
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES PARTICULARES DE LA ZONA...		109
4.1	INTRODUCCIÓN	111
4.2	EL VIENTO EN LA RÍA DE FERROL	112
4.2.1	ACCESO A LOS DATOS CLIMÁTICOS	113
4.2.1.1	Agencia Estatal de Meteorología	113
4.2.1.2	Meteogalicia	114
4.2.1.3	Recopilación de datos	116
4.2.2	ANÁLISIS DE DIRECCIÓN DE RACHA	117
4.2.3	ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE RACHA	122
4.2.4	ANÁLISIS DE ESTACIONALIDAD Y FRECUENCIA	129
4.3	LAS CORRIENTES EN LA RÍA DE FERROL	131
CAPÍTULO V: CÁLCULO DE AMARRES Y PROPUESTAS DE MEJORA		137
5.1	INTRODUCCIÓN	139
5.2	INCORPORACIÓN DE DATOS GENERALES	140
5.3	CÁLCULO DE LAS FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO Y CORRIENTES	142
5.3.1	ACCIÓN DEL VIENTO	144
5.3.2	ACCIÓN DE LA CORRIENTE	149
5.4	INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DEL AMARRE	156
5.4.1	CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN POPA (SECCIÓN 4.3) .	162
5.4.2	CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN PROA (SECCIÓN 4.4) .	164
5.4.3	CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA POPA (SECCIÓN 4.5)	165
5.4.4	CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA PROA (SECCIÓN 4.6)	166
5.5	RESISTENCIA DEL SISTEMA DE DEFENSAS	167
5.6	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	171
5.7	VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CÁLCULO	173

5.7.1	CASO 1: MHI CLASE G EN EL MUELLE DE REGANOSA.....	173
5.7.2	CASO 2: LNG NEVA RIVER EN MUELLE 14 DE FERROL	175
5.7.3	CASO 3: LNG BARCELONA KNUTSEN EN EL MUELLE DE REGANOSA.....	177
5.7.4	CASO 4: LNG MARGARET HILL EN MUELLE 11 FENE	179
5.8	CONCLUSIONES	180
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE ATRAQUE Y AMARRE.....		183
6.1	ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE ATRAQUE Y AMARRE.....	185
6.2	MANIOBRA Y DEFENSAS.....	185
6.2.1	ENERGÍA TRANSMITIDA POR EL BUQUE EN EL ATRAQUE.....	185
6.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS DEFENSAS.....	195
6.2.3	ESPACIAMIENTO ENTRE DEFENSAS	197
6.2.4	REACCIÓN TRANSMITIDA AL BUQUE	201
6.3	ELEMENTOS DE AMARRE	203
6.3.1	NORAYES	204
6.3.1.1	<i>Amarre de largos y springs</i>	205
6.3.1.2	<i>Amarre de traveses</i>	210
6.3.1.3	<i>Norayes móviles</i>	214
6.3.2	LÍNEAS DE REFUERZO	215
6.4	EXPOSICIÓN AL RIESGO DE LOS MUELLES DE NRFF	219
CAPÍTULO VII: NOTIFICACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS		225
7.1	INTRODUCCIÓN	227
7.2	OBJETIVOS	230
7.3	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	234
7.3.1	AVISO DE ALERTAS (PROCESO AEMET)	235
7.3.2	INFORME DIARIO (PROCESO METEOWETTER).....	239
7.3.2.1	<i>Gráfico resumen de Meteogalicia</i>	239
7.3.2.2	<i>Evolución gráfica de las borrascas</i>	241
7.3.2.3	<i>Tabla de mareas</i>	242
7.3.2.4	<i>Composición y envío del correo electrónico</i>	243
CAPÍTULO VIII: MEDIDAS EXTREMAS DE CONTINGENCIA		245
8.1	INTRODUCCIÓN	247
8.2	ESTUDIO DINÁMICO DE ROTURA DE AMARRAS	247
8.3	PUNTOS DE AMARRE ESPECIALES	250
8.3.1	REMOLQUE DE EMERGENCIA DE POPA	250

8.3.2	SUJECCIÓN DE REMOLCADOR DE ESCOLTA (POPA)	252
8.3.3	PUNTOS DE AMARRE PARA EL REMOLCADOR DE PUERTO	254
8.3.4	PUNTOS DE AMARRE PARA LA DESCARGA BARCO A BARCO.....	257
8.3.5	REMOLQUE DE EMERGENCIA (PROA)	257
8.3.6	CADENAS DE FONDEO	258
8.4	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE EMERGENCIA.....	258
8.4.1	SISTEMAS ELÉCTRICOS ACTUALES	260
8.4.1.1	<i>Distribución eléctrica en el centro de Ferrol.....</i>	260
8.4.1.2	<i>Distribución eléctrica en el centro de Fene.....</i>	265
8.4.1.3	<i>Alimentaciones a los centros de Ferrol y Fene.....</i>	269
8.4.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS DE EMERGENCIA	271
8.4.2.1	<i>Centro de Ferrol</i>	271
8.4.2.2	<i>Centro de Fene.....</i>	274
8.4.3	MEDIOS ALTERNATIVOS DE SUMINISTRO	276
8.4.4	ANÁLISIS DE RIESGOS	278
8.4.5	CONEXIÓN DE GENERADORES	280
8.4.5.1	<i>Fase 1: Dique 3 y muelle 14</i>	280
8.4.5.2	<i>Fase 2: Dique 2 y muelle 9</i>	283
8.4.5.3	<i>Fase 3: Dique 5.....</i>	284
8.5	RENOVACIÓN DE LAS GAZAS DE LAS AMARRAS.....	286
8.5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	288
8.5.2	LA NORMA EN 13411-3.....	291
8.5.3	VIABILIDAD TÉCNICA PARA REALIZAR EL PROCESO EN NAVANTIA	292
8.5.4	VIABILIDAD ECONÓMICA.....	294
CAPÍTULO IX: GESTIÓN DE LA EMERGENCIA		297
9.1	INTRODUCCIÓN	299
9.2	RECEPCIÓN DE LA ALERTA Y PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN DE ACUERDO AL NIVEL DE PREDICCIÓN	300
9.3	COMITÉ DE EMERGENCIA.....	303
9.3.1	DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN	304
9.3.2	DESARROLLO DEL ORGANIGRAMA DEPENDIENTE DEL COMITÉ DE EMERGENCIA	304
9.3.3	CENTRO DE CONTROL DE LA EMERGENCIA	306
9.4	COMUNICACIONES Y SEGUIMIENTO DE LA EMERGENCIA.....	307
9.5	COORDINACIÓN CON PLANES DE RANGO SUPERIOR.....	309
9.6	LISTA DE COMPROBACIÓN GENERAL	316

CAPÍTULO X:	CONCLUSIONES Y DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	319
10.1	CONCLUSIONES.....	321
10.1.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	321
10.1.2	CONCLUSIONES FINALES.....	323
10.2	DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	340
10.2.1	INTRODUCCIÓN.....	340
10.2.2	CONTINUIDAD DEL TRABAJO EMPRENDIDO.....	341
10.2.3	FRENOS DE LAS MAQUINILLAS.....	341
10.2.4	ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ADAPTACIÓN DE UN MUELLE PARA LA REPARACIÓN EN CONDICIONES DIFERENTES A GAS-FREE.....	346
CAPÍTULO XI:	BIBLIOGRAFÍA.....	349
11.1	BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	351
11.2	ARTÍCULOS DE PRENSA Y REVISTAS ESPECIALIZADAS.....	359
11.3	NORMATIVA Y LEGISLACIÓN.....	361
11.4	INTERNET.....	368
11.4.1	PÁGINAS WEB DE CONSULTA FRECUENTE.....	368
11.4.2	SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN.....	369
11.4.3	ORGANIZACIONES INTERNACIONALES.....	369
ANEXO A:	CÁLCULO DE AMARRE DEL BUQUE LNG “BAYELSA” AL MUELLE Nº 14.....	371

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Estructuración en bloques temáticos	10
Figura 1.2	Desarrollo del bloque 1 (identificación de responsabilidades).....	10
Figura 1.3	Desarrollo del bloque 2 (Resistencia del amarre)	11
Figura 1.4	Desarrollo del bloque 3 (Dirección de la Emergencia)	12
Figura 2.1	Vista de la Ría de Ferrol.....	22
Figura 2.2	Taller criogénico en plena actividad.....	23
Figura 2.3	Reparación en el interior de un tanque de carga de un buque de transporte de gas licuado.....	24
Figura 2.4	Cientes: Factor de repetición.....	24
Figura 2.5	Plano general de las instalaciones de Navantia en Ferrol	25
Figura 2.6	Datos principales de los muelles del Centro de Ferrol.....	25
Figura 2.7	Plano general de las instalaciones de Navantia en Fene.....	26
Figura 2.8	Datos principales de los muelles del Centro de Fene	26
Figura 2.9	Movimiento vibratorio armónico simple.....	28
Figura 2.10	Tipos de amarras en función de su disposición.....	32
Figura 2.11	Elasticidad de las amarras en función del material de fabricación.....	33
Figura 2.12	Elementos que componen un cable	34
Figura 2.13	Cordones de alambres de igual diámetro	35
Figura 2.14	Cordones de alambres de diferente diámetro.....	35
Figura 2.15	Cables formados por un solo cordón	36
Figura 2.16	Cabo en Z y sus componentes. Fuente: Autor.....	42
Figura 2.17	Cabo de cuatro pares de cordones.....	42
Figura 2.18	Cabos con funda	43
Figura 2.19	Curvas de límite de altura de ola para un buque gasero de 138000 metros cúbicos de carga con amarras de HMPE y calabrotes de poliamida, trabajando al 50% de su MBL	47
Figura 2.20	Imagen de las amarras de través de proa del buque LNG GOLAR SPIRIT en el muelle 14 de Ferrol.....	48
Figura 2.21	Calabrote de fibra sintética conectado a un cabo de alambre por medio de un grillete Mandel.....	49
Figura 2.22	Calabrote de fibra sintética conectado a un cabo de fibra sintética HMPE mediante una ligada de vaquero o de acollador	49
Figura 2.23	Imagen de una maquinilla de popa babor del buque LNG BERGE ARZEW mostrando en detalle la división de sus carreteles	52
Figura 2.24	Foto de dos tambores divididos con un cabo de fibra sintética HMPE donde se aprecian las secciones de estiba y de tensión de cada uno	53
Figura 2.25	Disposición del freno, sentidos de virado y lascado de la maquinilla y enrollado y estiba del cabo de alambre en el tambor	56
Figura 2.26	Proceso de aportación de acero inoxidable sobre el tambor de frenado de un carretel de una maquinilla utilizando soldadura automática.....	57
Figura 2.27	Disposición típica para la realización de la prueba de frenado	58
Figura 2.28	Esquemático de maquinilla con freno sobre resorte y sistema hidráulico de zafado del mismo.....	60
Figura 2.29	Detalle del plano de amarre de una maquinilla de proa del buque LNG MADRID SPIRIT.....	61
Figura 2.30	Diferentes tipos de guías de costado tipo Panamá montadas en la banda de estribor del buque LNG BERGE ARZEW, varado en el dique 3 de Ferrol.....	62
Figura 2.31	Guía pedestal perteneciente a la disposición de amarre de proa del buque LNG BRITISH SAPPHIRE.....	62
Figura 2.32	Guía universal de rodillos.....	63
Figura 2.33	Conjunto de bita doble y guía tipo panamá utilizado para reforzado de amarre en proa, costado de estribor del buque LNG BRITISH INNOVATOR	64
Figura 3.1	Infracciones administrativas en el ámbito de la marina mercante y en el portuario estatal de acuerdo con el R.D.L. 2/2011	83
Figura 3.2	Competencias para la imposición de las sanciones previstas en el R.D.L. 2/2011	83
Figura 3.3	Denominación de las Comisiones de Investigación de Accidentes de varios países.....	87

Figura 3.4	Imagen de los norayes rotos en el muelle de Poniente Sur del puerto de Palma de Mallorca	91
Figura 3.5	Tabla de análisis de las causas de accidentes en relación con el amarre	97
Figura 3.6	Distribución en porcentaje de las causas de los accidentes	98
Figura 3.7	Resumen de obligaciones del Astillero de Reparación y su referencia de desarrollo en el presente trabajo	108
Figura 4.1	Situación de la ciudad de Ferrol dentro de la Comunidad de Galicia	111
Figura 4.2	Imagen de la Estación Meteorológica de CIS Ferrol	115
Figura 4.3	Disposición geográfica de las estaciones meteorológicas	116
Figura 4.4	Tabla resumen de registro de vientos mayores de 90 km/h	117
Figura 4.5	Escala de Beaufort (fuerzas 9 a 12)	118
Figura 4.6	Representación gráfica dirección/velocidad rachas	119
Figura 4.7	Histograma	119
Figura 4.8	Distribución de frecuencias	120
Figura 4.9	Representación gráfica dirección/velocidad rachas	120
Figura 4.10	Distribución de frecuencias	121
Figura 4.11	Régimen de las rachas superiores a 80 y 100 km/h (Monteventoso)	121
Figura 4.12	Rachas de mayor intensidad	123
Figura 4.13	Daños producidos por el ciclón tropical Hortensia	124
Figura 4.14	Los restos del Gordon arrancaron el tejado de dos edificios del barrio ferrolano de Caranza	124
Figura 4.15	Las comarcas de Cedeira y Ortigueira (al norte de Ferrol) se vieron especialmente afectadas	125
Figura 4.16	Comparativa de valores	126
Figura 4.17	Repeticiones / Velocidad	127
Figura 4.18	Gráfico de direcciones de racha	128
Figura 4.19	Vientos de máxima intensidad	128
Figura 4.20	Vientos mayores de 88 km/h. Distribución mensual	129
Figura 4.21	Vientos mayores de 88 km/h. Distribución mensual (probabilidad)	129
Figura 4.22	Distribución mensual de las borrascas (probabilidad)	130
Figura 4.23	Evolución anual	131
Figura 4.24	Tabla Resumen	131
Figura 4.25	Batimetría de la Ría de Ferro	132
Figura 4.26	Velocidades máximas con marea ascendente	133
Figura 4.27	Velocidades máximas con marea descendente	133
Figura 4.28	Velocidades con marea ascendente	134
Figura 4.29	Velocidades con marea descendente	135
Figura 4.30	Tabla resumen	135
Figura 5.1	Incorporación de datos generales	141
Figura 5.2	Incorporación de datos del muelle	141
Figura 5.3	Datos generales de los principales muelles de Navantia Ría de Ferrol	141
Figura 5.4	Gráfico de vientos fuertes	142
Figura 5.5	Fuerzas resultantes	143
Figura 5.6	Fuerzas y momento resultantes	144
Figura 5.7	Fuerzas resultantes provocadas por el viento	145
Figura 5.8	Fuerzas y momentos generados por la acción del viento	145
Figura 5.9	LNG Galea en el muelle 9 de Ferrol	146
Figura 5.10	LNG Madrid Spirit en el muelle 10 de Ferrol	146
Figura 5.11	Petrolero British Kestrel en el muelle 9 de Ferrol	146
Figura 5.12	Tabla de coeficientes en función de la figura del buque	147
Figura 5.13	Cálculos de fuerzas	147
Figura 5.14	Introducción de los valores de superficies y viento máximo a soportar	148
Figura 5.15	Tabla de fuerzas resultantes	148
Figura 5.16	Resumen de valores máximos de fuerzas	149
Figura 5.17	Tabla resumen	149
Figura 5.19	Curva de velocidades de corriente	151
Figura 5.20	Fuerzas y momentos generados por la acción de la corriente	151

Figura 5.21	Tabla de coeficientes de corrientes	152
Figura 5.22	Fuerzas originadas por la corriente	153
Figura 5.23	Fuerzas generadas por la acción de la corriente	153
Figura 5.24	Fuerzas resultantes de la acción de la corriente	154
Figura 5.25	Resumen de valores máximos de fuerzas	154
Figura 5.26	Módulos de fuerza de viento + corriente	154
Figura 5.27	Representación gráfica de fuerzas longitudinales y transversales	155
Figura 5.28	Página 4 del informe final	156
Figura 5.29	Disposición de amarre del buque LNG BAYELSA en el muelle 14	157
Figura 5.30	Definición de las amarras	158
Figura 5.31	Definición del ángulo α con el buque atracado estribor a muelle	158
Figura 5.32	Definición del ángulo α con el buque atracado babor a muelle	159
Figura 5.33	Vista de la sección transversal	159
Figura 5.34	Datos necesarios para el cálculo de la altura Z	160
Figura 5.35	Datos de las líneas de amarre	161
Figura 5.36	Cálculo de la resistencia transversal en popa	163
Figura 5.37	Cálculo de la resistencia longitudinal al desplazamiento hacia popa	165
Figura 5.38	Disposición general de las defensas	168
Figura 5.39	Datos técnicos de las defensas	168
Figura 5.40	Esquema de distribución de fuerzas	169
Figura 5.41	Ángulo de ataque para el cálculo de la resistencia de las defensas	170
Figura 5.42	Tabla resumen de las velocidades máximas admisibles del amarre en función del ángulo de ataque	171
Figura 5.43	Tabla resumen de las velocidades máximas admisibles del sistema de defensas en función del ángulo de ataque	172
Figura 5.44	Representación gráfica de las velocidades máximas admisibles	172
Figura 5.45	Datos a introducir para la representación gráfica de la alerta de viento	173
Figura 5.46	Representación gráfica de los límites del amarre	174
Figura 5.47	Comparativa de velocidades máximas admisibles (Amarre Clase G en Reganosa)	175
Figura 5.48	Representación gráfica de las velocidades máximas soportadas por el amarre del Neva River en el muelle 14 de Ferrol	176
Figura 5.49	Velocidades máximas soportadas por el amarre del Neva River en el muelle 14 de Ferrol en función de las direcciones de viento consideradas	176
Figura 5.50	Comparativa de los porcentajes de esfuerzo de líneas de carga en relación a su MBL	177
Figura 5.51	Diagrama polar de velocidades máximas de viento admisibles por el amarre	178
Figura 5.52	Comparativa de los porcentajes de esfuerzo de líneas de carga en relación a su MBL	178
Figura 5.53	Rosa de los vientos de OPTIMOOR indicando los límites de esfuerzo de los cabos de amarre	179
Figura 5.54	Rosa de los vientos de EXCEL	180
Figura 5.55	Comparativa de velocidades máximas admisibles	180
Figura 6.1	Cálculo de C_b y C_m para el buque LNG BAYELSA	188
Figura 6.2	Valor de la velocidad de aproximación en función de las condiciones del amarre	189
Figura 6.3	Valor de la velocidad de aproximación en función del desplazamiento el buque	190
Figura 6.4	Condiciones climáticas durante la maniobra	190
Figura 6.5	Cálculo del coeficiente de excentricidad	191
Figura 6.6	Cálculo de C_e para el buque LNG BAYELSA	191
Figura 6.7	Cálculo de E_f para el buque LNG BAYELSA	193
Figura 6.8	Factores parciales del coeficiente de impacto accidental	194
Figura 6.9	Cálculo del factor de impacto accidental para el buque LNG BAYELSA	194
Figura 6.10	Factor de impacto accidental según tipo y tamaño de buque	194
Figura 6.11	Curvas de comportamiento de las defensas neumáticas	196
Figura 6.12	Comparativa de las propiedades de defensas (pneumatic 50 / pneumatic 80)	197
Figura 6.13	Espaciamiento entre defensas	198
Figura 6.14	Cálculo de l_f para buque LNG BAYELSA	199
Figura 6.15	Detalle del amarre de las defensas al muelle	199

Figura 6.16	Punto de contacto con el sistema de defensas. Línea de agua del buque Madrid Spirit a 9,5 m. de la línea base.....	200
Figura 6.17	Contacto en dos defensas simultáneamente.....	200
Figura 6.18	Cálculo del ángulo mínimo de aproximación λ	201
Figura 6.19	Presión de reacción admisible en función del tipo de buque.....	201
Figura 6.20	Imagen rotura noray.....	204
Figura 6.21	Disposición de noray de 125 tons montado sobre el cantil del muelle.....	206
Figura 6.22	Imagen del enlace débil de protección de los norayes de 125 tons.....	206
Figura 6.23	Esquema para el cálculo de número de springs/largos.....	207
Figura 6.24	Descomposición de fuerzas.....	208
Figura 6.25	Cálculo de la longitud mínima de un spring/largo para buque LNG BAYELSA.....	208
Figura 6.26	Cálculo del ángulo α para un spring/largo en buque LNG BAYELSA.....	209
Figura 6.27	Cálculo del rendimiento y la resistencia longitudinal para un spring/largo en buque LNG BAYELSA.....	209
Figura 6.28	Valores de C_a en función del material de fabricación de los cabos.....	209
Figura 6.29	Cálculo del número de amarras longitudinales.....	210
Figura 6.30	Dibujo esquemático de noray de 300 tons.....	211
Figura 6.31	Distancia desde el cantil del muelle de varios muelles de NRFF a los norayes de través.....	211
Figura 6.32	Cálculo del rendimiento y la resistencia longitudinal para un través en el buque LNG BAYELSA.....	212
Figura 6.33	Cálculo del número de amarras transversales.....	212
Figura 6.34	Noray asentado sobre pilotes.....	213
Figura 6.35	Noray asentado sobre losa de hormigón.....	214
Figura 6.36	Imagen del bastidor situado en el muelle 14 de Ferrol con una estacha de través del buque LNG Madrid Spirit.....	214
Figura 6.37	Coeficientes de rozamiento estático.....	215
Figura 6.38	Número de amarras necesario.....	215
Figura 6.39	Esquemático para el cálculo de L_E	217
Figura 6.40	Cálculo de la longitud de amarra exterior al buque.....	218
Figura 6.41	Cálculo de la longitud total de las amarras de refuerzo.....	218
Figura 6.42	Tabla de Índices de Criticidad.....	219
Figura 6.43	Valoración según la frecuencia de uso.....	221
Figura 6.44	Exposición del muelle 14 a vientos fuertes.....	222
Figura 6.45	Cálculo de exposición global al riesgo.....	223
Figura 6.46	Imagen del amarre de popa del buque Hispania Spirit en el muelle 9 de Ferrol, con dos nuevos norayes de 300 toneladas, tomada desde abord.....	224
Figura 7.1	Niveles de alerta por Fenómenos Meteorológicos Adversos.....	227
Figura 7.2	Valores umbrales de alerta por viento y lluvia para la Comunidad Autónoma de Galicia.....	229
Figura 7.3	Imagen de la serie temporal según el modelo meteorológico WRF.....	232
Figura 7.4	Representación gráfica de la predicción de velocidad y dirección del viento.....	233
Figura 7.5	Captura de pantalla del programador de tareas.....	234
Figura 7.6	Fragmento de página .html en código fuente.....	236
Figura 7.7	Ejemplo del fichero .pdf disponible en la página web de Aemet, enviado como fichero adjunto.....	237
Figura 7.8	Imagen de la división zonal de la provincia de A Coruña.....	238
Figura 7.9	Captura de pantalla del correo electrónico de alerta generado.....	238
Figura 7.10	Captura de pantalla del programa de gestión GOPYP utilizada para el envío de los correos de información meteorológica dentro del expediente de reparación del buque “British Emerald”.....	239
Figura 7.11	Gráfico de Meteogalicia personalizado.....	240
Figura 7.12	Evolución gráfica de las borrascas.....	242
Figura 7.13	Captura de pantalla del correo electrónico de informe diario.....	243
Figura 8.1	Imagen del buque LNG NEVA RIVER faltando sus traveses de proa.....	247
Figura 8.2	Esquemático de dos remolcadores Tractor Voith empleando el método push-pull en una maniobra de asistencia a un buque en puerto.....	249
Figura 8.3	Disposición del remolque de emergencia de popa.....	251
Figura 8.4	Tensiones inducidas en el “strong point” en cubierta de maniobra de popa del buque LNG LAGOS.....	253
Figura 8.5	Esquemático de la disposición de “Safety bitt”.....	253

Figura 8.6	Requerimientos típicos para la disposición de un alambre para remolque de emergencia	254
Figura 8.7	Disposición del alambre de proa para remolque de emergencia del petrolero “CONSTITUTION”	255
Figura 8.8	Cabos de remolque de emergencia: MBL y la longitud recomendada en función del peso muerto del buque.....	256
Figura 8.9	Imagen de dos bitas empotradas en el costado del buque LNG BRITISH TRADER.....	256
Figura 8.10	Disposición del remolque de emergencia de proa	258
Figura 8.11	Imagen de una de las seis torres propiedad de la Red Eléctrica de España derribadas por el temporal de viento en enero de 2009 en la comarca del Deza (centro de Galicia).....	259
Figura 8.12	Esquema simplificado de la subestación de 132 kV de Caranza.....	261
Figura 8.13	Esquemático alimentaciones 440 V / 60 Hz a instalaciones de Reparaciones	262
Figura 8.14	Esquemático de las alimentaciones de las bombas de achique de los diques 2 y 3.....	263
Figura 8.15	Representación esquemática de las alimentaciones de 440 V y 220V, 50 Hz a los diques de Ferrol y muelle 14.....	264
Figura 8.16	Cuadro de alimentaciones de diques y muelles del centro de Ferrol.....	264
Figura 8.17	Esquemático general del centro de Navantia Fene.....	265
Figura 8.19	Diagrama esquemático de la central eléctrica del dique no. 4	267
Figura 8.20	Esquemático de la central de proa del dique no. 5	268
Figura 8.21	Esquemático de la central de popa del dique no. 5.....	269
Figura 8.22	Cuadro de alimentaciones de diques y muelles del centro de Ferrol.....	269
Figura 8.23	Mapa de distribución eléctrica de la zona de Ferrol.....	270
Figura 8.24	Cuadro de consumos en kW de los servicios tanto de emergencia como básicos de 400 V, 50 Hz correspondientes al Centro de Ferrol	273
Figura 8.25	Cuadro de consumos en kilovatios de los servicios tanto de emergencia como básicos de 400 V y 230 V, 50 Hz correspondientes al Centro de Fene.....	275
Figura 8.26	Tabla resumen de necesidades de potencia en kW.....	276
Figura 8.27	Imagen del cuadro de conexión y control del generador Agalsa mostrando el detalle de su conmutador de frecuencia situado en su interior.....	277
Figura 8.28	Valoración según la frecuencia de uso	279
Figura 8.29	Valoración del índice de autonomía	279
Figura 8.30	Índice global de exposición al riesgo por fallo de suministro de la energía eléctrica principal.....	279
Figura 8.31	Subcentral no. 2: Esquema eléctrico de la distribución de 400 V y 230 V, 50 Hz.....	280
Figura 8.32	Subcentral no. 3: Esquema eléctrico de la distribución de 400 V y 230 V, 50 Hz.....	281
Figura 8.33	Esquema de conexión de generador portátil en Subcentral no. 1	282
Figura 8.34	Esquema simplificado de la Subcentral Muelle Este.....	283
Figura 8.35	Conexión de generador autónomo en barras de 400V alimentación cuadros muelle 9.....	284
Figura 8.36	Conexión de generador autónomo en barras Arsenal de 15 kV.....	284
Figura 8.37	Conexión de generadores en baja tensión.....	285
Figura 8.38	Conexión en media tensión del centro de Fene.....	286
Figura 8.39	Prensa Gerro, modelo E 90/47	289
Figura 8.40	Terminal de aluminio tipo T.....	289
Figura 8.41	Casquillo a emplear en función del diámetro del cable de acuerdo con la norma EN-12411-3.....	290
Figura 8.42	Troquel intercambiable de acuerdo al tamaño del casquillo a utilizar.....	291
Figura 8.43	Prensa de 1500 tons.....	293
Figura 8.44	Uso de la prensa como troqueladora	293
Figura 8.45	Control de movimiento y fuerza de la prensa.....	294
Figura 8.46	Cálculo aproximado del PRI de ambas alternativas	295
Figura 9.1	Prohibición de trabajos en función de las velocidades medias del viento	301
Figura 9.2	Registro de presión, velocidad de viento y temperatura del día 14 de diciembre del 2012	302
Figura 9.3	Detalle del gráfico de predicción de presión y velocidad del viento de Meteogalicia	302
Figura 9.4	Composición del Comité de Emergencia	303
Figura 9.5	Composición y funciones del Comité Técnico Asesor	305
Figura 9.6	Organigrama de Operaciones.....	306
Figura 9.7	Coordinación de planes de emergencia	310
Figura 9.8	Clasificación de las fases de la Emergencia	313

Figura 9.9	<i>Dirección de la Emergencia Marítima</i>	313
Figura 9.11	<i>Dirección de la Emergencia de acuerdo al nivel de la misma.....</i>	316
Figura 9.12	<i>Lista de comprobación del Comité de Dirección.....</i>	316
Figura 10.1	<i>Resumen de obligaciones del Astillero de Reparación y su referencia de desarrollo en el presente trabajo</i>	326
Figura 10.2	<i>Caracterización de las corrientes marinas.....</i>	327
Figura 10.3	<i>Representación gráfica dirección/velocidad rachas.....</i>	328
Figura 10.4	<i>Tabla Resumen de caracterización de vientos muy fuertes.....</i>	328
Figura 10.5	<i>Cálculo de exposición global al riesgo.....</i>	332
Figura 10.6	<i>Plan de acción para la instalación de norayes de 300 tons.....</i>	333
Figura 10.7	<i>Índice global de exposición al riesgo por fallo de suministro de la energía eléctrica principal</i>	336
Figura 10.8	<i>Reducción del tiro de frenado en función del par aplicado al volante de freno</i>	343
Figura 10.9	<i>Control de frenado electrónico.....</i>	345

LISTA DE SÍMBOLOS

		UNIDADES	
		SMI	MARIT.
a	Distancia entre el buque y el muelle medida en el centro de la defensa, considerando la deformación de ésta en el caso de que la energía de atraque sea absorbida por un solo elemento.		m
A	Diámetro de la defensa neumática sin comprimir.		m
A_g	Superficie efectiva del pistón del gato de prueba de frenado de las maquinillas.		m ²
A_L	Superficie longitudinal de exposición a un calado determinado.		m ²
A_T	Superficie transversal de exposición al viento a un calado determinado.		m ²
A_v	Superficie transversal de exposición al viento en calado de verano.		m ²
B	Manga del buque.		m
BHC	Capacidad de frenado o tiro del cable sobre la maquinilla ("Brake Holding Capacity").	kN	ton
C	Distancia mínima admisible entre buque y muelle.		m
C_a	Coeficiente de seguridad de amarras en función del material de construcción de éstas.		adimensional
C_b	Coeficiente de bloque		adimensional
C_c	Coeficiente de configuración del atraque.		adimensional
C_d	Coeficiente de seguridad de defensas.		adimensional
C_e	Coeficiente de excentricidad.		adimensional
C_g	Coeficiente geométrico del buque.		adimensional
C_m	Coeficiente de masa hidrodinámica.		adimensional
C_s	Coeficiente de rigidez del sistema de atraque.		adimensional
C_t	Coeficiente de atraque.		adimensional
C_{Xc}	Coeficiente de resistencia longitudinal debido a la acción de la corriente.		adimensional
C_{Xw}	Coeficiente de resistencia longitudinal debido a la acción del viento.		adimensional
C_{Xyc}	Coeficiente de momento debido a la acción de la corriente.		adimensional
C_{Xyw}	Coeficiente de momento debido a la acción del viento.		adimensional
C_{YAc}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción de la corriente para el cálculo de la fuerza en la perpendicular de popa.		adimensional
C_{YAw}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción del viento para el cálculo de la fuerza en la perpendicular de popa.		adimensional

C_{Yc}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción de la corriente.	adimensional	
C_{YFc}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción de la corriente para el cálculo de la fuerza en la perpendicular de proa.	adimensional	
C_{YFw}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción del viento para el cálculo de la fuerza en la perpendicular de proa.	adimensional	
C_{Yw}	Coeficiente de resistencia transversal debido a la acción del viento.	adimensional	
d	Calado del buque en una situación de carga determinada.	m	
d_A	Calado de popa del buque.	m	
d_c	Calado del buque en máxima carga.	m	
d_c	Calado medio del buque.	m	
d_F	Calado de proa del buque.	m	
d_N	Distancia desde el noray de través al cantil del dique, medida transversalmente a éste.	m	
dx	Deformación diferencial (defensas neumáticas).	adimensional	
D	Profundidad (distancia de la línea de agua al fondo).	m	
D_{max}	Fuerza de reacción de máxima de la defensa al 60% de su deformación.	kN	ton
D_{pp}	Fuerza de reacción de las defensas del muelle en la zona de popa.	kN	ton
D_{pr}	Fuerza de reacción de las defensas del muelle en la zona de proa.	kN	ton
E	Energía de absorción de la defensa neumática.	kJ.	ton.m
E_b	Energía cinética desarrollada por el buque.	kJ.	ton.m
E_f	Energía cinética que el buque ha de ceder al sistema de atraque.	kJ.	ton.m
E_f'	Energía cinética que el buque ha de ceder al sistema de atraque una vez aplicado el coeficiente de impacto accidental.	kJ.	ton.m
E_o	Energía del sistema de olas generado por un buque en movimiento.	kJ.	ton.m
EN	Número de equipo.	adimensional	
F	Fuerza resultante de las acciones de viento y corriente.	kN	ton
F_c	Fuerza resultante de la acción de la corriente.	kN	ton
F_C	Fuerza ejercida por el cabo de amarre sobre la maquinilla.	kN	ton
F_G	Fuerza ejercida por el gato hidráulica durante la prueba de frenado de maquinillas.	kN	ton
F_r	Fuerza de rozamiento.	kN	ton
F_w	Fuerza resultante de la acción del viento.	kN	ton
F_X	Fuerza longitudinal provocada por la acción conjunta de viento y corriente.	kN	ton
F_{Xc}	Fuerza longitudinal provocada por la acción de la corriente.	kN	ton
F_{Xmax}	Fuerza longitudinal máxima provocada por la acción conjunta de viento y corriente que puede soportar el sistema de amarras.	kN	ton

F_{Xw}	Fuerza longitudinal provocada por la acción del viento.	kN	ton
F_{Xwmax}	Fuerza longitudinal máxima provocada por la acción del viento que puede soportar el sistema de amarras.	kN	ton
F_Y	Fuerza transversal aplicada en la intersección de la línea de crujía con la sección media del buque y provocada por la acción conjunta de viento y corriente.	kN	ton
F_{YA}	Fuerza transversal en la perpendicular de popa provocada por la acción conjunta de viento y corriente.	kN	ton
F_{YAc}	Fuerza transversal en la perpendicular de popa provocada por la acción de la corriente.	kN	ton
F_{YAmx}	Fuerza transversal máxima en la perpendicular de popa provocada por la acción conjunta de viento y corriente que puede soportar el sistema de amarras o defensas.	kN	ton
F_{YAw}	Fuerza transversal en la perpendicular de popa provocada por la acción del viento.	kN	ton
F_{YAwmax}	Fuerza transversal máxima en la perpendicular de popa provocada por la acción del viento que puede soportar el sistema de amarras.	kN	ton
F_{Yc}	Fuerza transversal provocada por la acción de la corriente.	kN	ton
F_{YF}	Fuerza transversal en la perpendicular de proa provocada por la acción conjunta de viento y corriente.	kN	ton
F_{YFmax}	Fuerza transversal máxima en la perpendicular de proa provocada por la acción conjunta de viento y corriente que el sistema de amarras o defensas es capaz de soportar.	kN	ton
F_{YFw}	Fuerza transversal en la perpendicular de proa provocada por la acción del viento.	kN	ton
F_{YFc}	Fuerza transversal en la perpendicular de proa provocada por la acción de la corriente.	kN	ton
F_{Yw}	Fuerza transversal provocada por la acción del viento.	kN	ton
g	Aceleración de la gravedad.		m/s ²
h	Altura desde la quilla a la cubierta de amarre.		m
h_T	Suma de alturas de superestructura para el cálculo del número de equipo.		m
i_a	Índice de autonomía.		adimensional
i_f	Índice de frecuencia de uso.		adimensional
i_G	Índice de exposición global al riesgo del muelle.		adimensional
i_m	Índice representativo de medios actuales de amarre del muelle.		adimensional
i_r	Índice de exposición al riesgo debido a la orientación del muelle y su exposición a vientos fuertes.		adimensional
IC	Índice de criticidad.		adimensional

ICO	Índice de criticidad objetivo.	adimensional	
K	Radio de giro del buque con respecto al eje vertical que pasa por su centro de gravedad.	m	
l	Longitud de la proyección horizontal de la amarra.	m	
l_f	Espaciamiento mínimo entre defensas.	m	
L	Eslora total del buque.	m	
L_{BP}	Eslora entre perpendiculares.	m	
L_c	Deformación medida en la prueba de compresión paralela de defensas neumáticas.	m	
L_E	Longitud de la amarra exterior al buque, desde la guía de cubierta hasta el noray.	m	
L_G	Distancia del eje de giro del tambor de la máquina al punto de aplicación de fuerza del gato para la prueba de frenado.	m	
L_I	Longitud de la amarra interior al buque.	m	
L_T	Longitud total de la amarra.	m	
M_b	Masa del buque.	kg	ton
M_c	Momento producido por el tiro del cable de amarre sobre el carretel de la maquinilla.	kN.m	ton.m
M_w	Masa del agua que se mueve con el buque durante el atraque.	kN	ton
M_{XY}	Momento originado por la acción del viento y corriente.	kN.m	ton.m
M_{XYc}	Momento originado por la acción de la corriente.	kN.m	ton.m
M_{XYw}	Momento originado por la acción del viento.	kN.m	ton.m
N_L	Número mínimo de amarras longitudinales necesarias para sostener el buque.	adimensional	
N_{pp}	Número de defensas desde la línea central a la proa.	adimensional	
N_{pr}	Número de defensas desde la línea central a la proa.	adimensional	
N_T	Número mínimo de amarras transversales necesarias para sostener el buque.	adimensional	
p	Nivel de coronamiento del muelle.	m.	
P	Peso.	kN	ton
P_G	Presión del gato hidráulico durante la prueba de frenado de las maquinillas.	N/m ²	Kg/cm ²
P(x)	Probabilidad.	adimensional	
Q(x)	Reacción de la defensa ante una deformación determinada.	kN	ton
r	Distancia, medida en el plano longitudinal del buque, entre su centro de gravedad y el punto de contacto con la defensa.	m	
r_a	Radio del cabo de amarre (cálculo de prueba de frenado de maquinillas).	mm	

r_c	Distancia, medida sobre la línea del muelle, entre el centro de gravedad del buque y el punto de contacto con la defensa.	m	
R	Radio del tambor de la maquinilla.	m	
R_a	Resistencia total de los norayes de través existentes en el muelle.	kN	ton
R_b	Radio de curvatura del casco del buque, en planta, en la zona donde se produce el contacto con el sistema de defensas.	m	
R_T	Resistencia total requerida para los norayes de través.	kN	ton
R_X	Resistencia longitudinal de la amarra.	kN	ton
R_Y	Resistencia transversal de la amarra.	kN	ton
R_{YA}	Resistencia transversal en la perpendicular de popa.	kN	ton
R_{YF}	Resistencia transversal en la perpendicular de proa.	kN	ton
t	Altura de la pleamar en tabla de mareas, considerada para el cálculo de la resistencia de amarras.	m	
T	Periodo de oscilación (olas).		
T_n	Periodo natural de vibración.	segundo	
V	Velocidad de aproximación del buque.	m/s	nudo
V_{10}	Velocidad del viento medida a 10 metros de altura sobre el nivel del mar.	m/s	nudo
V_b	Componente normal al muelle de la velocidad de aproximación del buque.	m/s	nudo
V_c	Velocidad de la corriente.	m/s	nudo
V_h	Velocidad del viento a una determinada altura h sobre el nivel del mar.	m/s	nudo
V_w	Velocidad del viento.	m/s	nudo
V_{wmax}	Velocidad máxima de viento que puede soportar el sistema de amarre.	m/s	nudo
y	Porcentaje de deformación de la defensa.	adimensional	
Z	Altura entre la guía del buque y el noray del muelle.	m	
α	Ángulo, medido en el plano horizontal, formado entre el costado del buque y la proyección horizontal de la amarra.	grado	
β	Ángulo, medido en el plano vertical, formado entre la amarra y el muelle.	grado	
Δ	Desplazamiento del buque.	kN	ton
Δ_v	Desplazamiento en calado de verano.	kN	ton
ρ_c	Densidad del agua de mar.	kg/m^3	
ρ_w	Densidad del aire.	kg/m^3	
θ	Ángulo de ataque de viento y corriente.	grado	
θ_c	Ángulo de ataque de la corriente.	grado	
θ_w	Ángulo de ataque del viento.	grado	

μ_E	<i>Coeficiente de rozamiento estático.</i>	<i>adimensional</i>
φ	<i>Ángulo formado entre el vector que representa la velocidad de aproximación y la línea que une el centro de gravedad del buque con el punto de contacto con el sistema de defensas.</i>	<i>grado</i>
η_x	<i>Rendimiento de largos y sprines en función de los ángulos que los definen.</i>	<i>adimensional</i>
η_y	<i>Rendimiento de los traveses en función de los ángulos que los definen.</i>	<i>adimensional</i>
λ	<i>Ángulo de atraque (formado entre la línea de crujía del buque y la línea del muelle).</i>	<i>grado</i>
$\gamma_{fi,5\%}$	<i>Coeficiente de impacto accidental.</i>	<i>adimensional</i>
$\gamma_{fi,1}$	<i>Coeficiente de impacto accidental dependiente del desplazamiento del buque.</i>	<i>adimensional</i>
$\gamma_{fi,2}$	<i>Coeficiente de impacto accidental dependiente de los medios auxiliares utilizados en la maniobra.</i>	<i>adimensional</i>
$\gamma_{fi,3}$	<i>Coeficiente de impacto accidental dependiente de la velocidad de aproximación al muelle.</i>	<i>adimensional</i>
$\gamma_{fi,4}$	<i>Coeficiente de impacto accidental dependiente de la frecuencia de llegadas al atraque.</i>	<i>adimensional</i>
δx	<i>Elongación de las amarras en sentido longitudinal.</i>	<i>m</i>

LISTA DE ACRÓNIMOS

<i>AADIP</i>	Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios
<i>ABS</i>	<i>American Bureau of Shipping</i> (Sociedad de Clasificación de origen estadounidense)
<i>AEMET</i>	Agencia Estatal de Meteorología
<i>AJ</i>	Asesoría Jurídica
<i>A.P.</i>	<i>Aft Perpendicular</i> (Perpendicular de popa)
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de programación de aplicaciones que contiene funciones para el manejo de sistemas)
<i>ASD</i>	<i>Azimuth Stern Drive</i>
<i>ATD</i>	<i>Azimuth Tractor Drive</i>
<i>ATSB</i>	<i>Australian Transport Safety Bureau</i> (Oficina de Seguridad en el transporte del gobierno australiano)
<i>ATT</i>	<i>Asymmetric Tractor Tug</i>
<i>AXEGA</i>	<i>Agencia Galega de Emerxencias</i>
<i>AWT</i>	<i>Azimuth Water Tractor</i>
<i>BEAmer</i>	<i>Bureau d'enquêtes sur les événements de mer</i> (Comisión de investigación de accidentes marítimos del gobierno francés)
<i>BHC</i>	<i>Brake Holding Capacity</i> (Capacidad de frenado de una maquina)
<i>BIMCO</i>	<i>Baltic and International Maritime Council</i> (asociación de rango marítimo que provee a sus miembros de formatos de contratos y cláusulas con el fin de estandarizar las actividades comerciales)
<i>BOE</i>	Boletín Oficial del Estado
<i>BS</i>	<i>British Standard</i> (Norma de estandarización británica)
<i>BSU</i>	<i>Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung</i> (Comisión de investigación de accidentes marítimos alemán)
<i>BV</i>	<i>Bureau Veritas</i> (Sociedad de Clasificación francesa)
<i>CAMGAL</i>	Plan para la lucha contra la Contaminación Marina de Galicia
<i>CCE</i>	Centro de Coordinación de Emergencias
<i>CCO</i>	Correo electrónico enviado en modo de copia oculta
<i>CCS</i>	Centro de Coordinación de Salvamento
<i>CDI</i>	<i>Chemical Distribution Institute</i>
<i>CE</i>	Comunidad Europea
<i>CEDEX</i>	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
<i>CESGA</i>	Centro de Supercomputación de Galicia
<i>CESMA</i>	<i>Confederation of European Shipmasters' Associations</i> (Confederación europea de las diferentes asociaciones de capitanes).
<i>CIAM</i>	Comisión Permanente de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos
<i>CIS</i>	<i>Centro de Innovación e Servizos, Deseño e Tecnoloxía</i>
<i>COASE</i>	Centro Asesor de Emergencias
<i>CT</i>	<i>Conventional Tug</i>
<i>DGMM</i>	Dirección General de la Marina Mercante

<i>DMAIB</i>	<i>Danish Maritime Accident Investigation Board</i> (Comisión de investigación de accidentes marítimos del gobierno danés)
<i>DNV</i>	<i>Det Norske Veritas</i> (Sociedad de Clasificación noruega)
<i>DOG</i>	Diario Oficial de Galicia
<i>DWT</i>	<i>Dead Weight Tonnage</i> (Tonelaje de peso muerto)
<i>EN</i>	<i>Equipment Number</i> (Número de equipo)
<i>ETOP</i>	<i>Emergency Towing-Off Pennant</i>
<i>FOM</i>	Abreviatura de “ <i>Ministerio de Fomento</i> ” para identificar la entidad emisora de una Orden Ministerial
<i>F.P.</i>	<i>Forward Perpendicular</i> (Perpendicular de proa)
<i>GFS</i>	<i>Global Forecast System</i> (Sistema de almacenamiento de datos para su empleo en la elaboración de predicciones meteorológicas)
<i>GNL</i>	Gas Natural Liquado
<i>GPV</i>	Grupos de Predicción y Vigilancia
<i>GTT</i>	<i>Gas Transport & Technigas</i> (Tecnólogo de construcción de tanques de transporte de gas licuado basado en membranas de contención, fruto de la unión de <i>Gas Transport</i> y <i>Technigas</i>)
<i>HAZID</i>	<i>HAZard Identification</i> (Técnica de detección de riesgos y evaluación de consecuencias que utiliza una metodología estructurada, basada en el planteamiento de cuestiones del tipo “¿qué pasa si...?”)
<i>HAZOP</i>	<i>HAZard and Operability</i> (Técnica de detección de riesgos y evaluación de consecuencias que trata de identificar aquellos desde el punto de vista operativo, a través del estudio de los diagramas de flujo).
<i>HMPE</i>	<i>High Modulus PolyEthylene</i> (Fibras sintéticas de alta resistencia)
<i>HTML</i>	<i>HyperText Markup Language</i> (Lenguaje de Marcado de Hipertexto), es el utilizado para crear las páginas web
<i>HSE</i>	<i>Health, Safety and Enviroment</i> (Salud, Seguridad y Medio Ambiente)
<i>HVAC</i>	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning System</i>
<i>IACS</i>	<i>International Association of Classification Societies</i> (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación)
<i>IAPH</i>	<i>International Association of Ports and Harbours</i> (Asociación Internacional de Puertos)
<i>IC</i>	Índice de Criticidad
<i>ICO</i>	Índice de Criticidad Objetivo
<i>ICS</i>	<i>International Chamber of Shipping</i> (Registro internacional de buques)
<i>IHMA</i>	<i>International Harbour Masters Association</i> (Asociación Internacional de Capitanes de Puerto)
<i>INTERTANKO</i>	<i>International Association of Independent Tanker Owners</i> (Asociación Internacional de Armadores de buques tanque)
<i>ISGOTT</i>	<i>International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals</i>
<i>ISO</i>	<i>International Standard Organization</i> (Organización Internacional de Normalización)
<i>IWRC</i>	<i>Independent Wire Rope Core</i> (Alma metálica de un cabo consistente en un cordón formado por 7 alambres)
<i>JIS</i>	<i>Japanese Industrial Standards</i> (Norma de estandarización japonesa)
<i>LNG</i>	<i>Liquefied Natural Gas</i> (Gas natural licuado)
<i>LOA</i>	<i>Length Overall</i>
<i>LWL</i>	<i>Length on the Waterline</i>
<i>MAIB</i>	<i>Marine Accident Investigation Branch</i> (Comisión de investigación de accidentes marítimos del Reino Unido)

<i>MBL</i>	<i>Minimum Breaking Load</i> (mínima carga de rotura)
<i>MBM</i>	<i>Multi Buoy Mooring</i> (campo de boyas de amarre)
<i>MOU</i>	<i>Memorandum of Understanding</i>
<i>MSC</i>	<i>Maritime Safety Comitee</i> (Comité de Seguridad Marítima)
<i>MTPQ</i>	<i>Marine Terminal Particulars Questionnaire</i> (Cuestionario de las disposiciones generales de la terminal)
<i>NE</i>	Nordeste
<i>NI</i>	<i>Nautical Institute</i> (Instituto náutico)
<i>NKK</i>	<i>Nippon Kaiji Kyokai</i> (Sociedad de Clasificación japonesa)
<i>NO</i>	Noroeste
<i>NRFF</i>	Navantia Reparaciones Fene - Ferrol
<i>O</i>	Oeste
<i>OCIMF</i>	<i>Oil Companies International Marine Forum</i>
<i>OHSAS</i>	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i> (Prevención de Riesgos Laborales)
<i>OMS</i>	<i>Office of Marine Safety</i> (Oficina de Seguridad Marítima de los Estados Unidos)
<i>ONO</i>	Oeste - Noroeste
<i>OOW</i>	<i>Officer of the Watch</i>
<i>OSO</i>	Oeste - Suroeste
<i>PDF</i>	<i>Portable Document Format</i> (Formato de almacenamiento de documentos caracterizado porque sus archivos ocupan espacio de memoria reducido)
<i>PE</i>	Plan de Emergencia
<i>PEI</i>	Plan de Emergencia Interior
<i>PEMU</i>	Plan de Emergencia Municipal
<i>PIC</i>	Plan Interior de Contingencias
<i>PLATERGA</i>	<i>Plan Territorial de Emerxencias de Galicia</i>
<i>PPE</i>	<i>Personal Protective Equipment</i>
<i>PRI</i>	Periodo de Recuperación de la Inversión
<i>PRL</i>	Prevención de Riesgos Laborales
<i>RD</i>	Real Decreto
<i>RDL</i>	Real Decreto Legislativo
<i>REE</i>	Red Eléctrica de España
<i>ROM</i>	Recomendaciones de Obras Marítimas (Editadas por el Ministerio de Fomento)
<i>S</i>	Sur
<i>SASEMAR</i>	Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima
<i>SE</i>	Sureste
<i>SEPI</i>	Sociedad Española de Participaciones Industriales
<i>SIGTTO</i>	<i>Society of International Gas Tanker and Terminal Operators</i> (Sociedad internacional de armadores de gaseros y operadores de terminales)
<i>SIRE</i>	<i>Ship Inspection Report Programme</i> (Base de datos de OCIMF para el seguimiento de inspecciones de buques gaseros y petroleros)
<i>SMTP</i>	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i> (Protocolo para la gestión del correo electrónico)
<i>SO</i>	Suroeste
<i>SOLAS</i>	<i>Safety of Life At Sea</i> (Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar)
<i>SPM</i>	<i>Single Point Mooring</i> (monoboya de amarre)

<i>SQL</i>	<i>Structured Query Language</i> (Lenguaje de programación especializado para la consulta de bases de datos)
<i>SS</i>	<i>Service Ship</i> . Denominación aplicada al buque de menor tamaño que interviene en las maniobras de trasiego entre dos buques (STS).
<i>SSO</i>	Sur - Suroeste
<i>STS</i>	<i>Ship to Ship Transfer Operations</i> (Conjunto de operaciones que permiten el trasiego entre dos buques)
<i>SWL</i>	<i>Safe Working Load</i> (Carga segura de trabajo)
<i>TPM</i>	Toneladas de Peso Muerto
<i>TRAFI</i>	<i>Finnish Transport Safety Agency</i> (Agencia de seguridad en el transporte del gobierno de Finlandia)
<i>TSBC</i>	<i>Transportation Safety Board of Canada</i> (Oficina de seguridad en el transporte marítimo del gobierno canadiense)
<i>UHMPE</i>	<i>Ultra High Modulus PolyEthylene</i> (Fibras sintéticas de muy alta resistencia)
<i>UHMWPE</i>	<i>Ultra High Molecular Weight PolyEthylene</i>
<i>UKC</i>	<i>Under Keel Clearance</i> (altura bajo la quilla o distancia de la quilla al fondo marino)
<i>ULCC</i>	<i>Ultra Large Crude Carrier</i> (Petrolero entre 300.000 y 500.000 tons dwt)
<i>UP</i>	Unidad Productiva
<i>USA</i>	<i>United States of America</i> (Estados Unidos de América)
<i>USC</i>	<i>Universidade de Santiago de Compostela</i>
<i>UTC</i>	<i>Universal Time Coordinated</i> (Hora coordinada universal)
<i>VLCC</i>	<i>Very Large Crude Carrier</i> (Petrolero capaz de transportar hasta 2 millones de barriles de crudo, típicamente entre 200.000 y 299.000 tons dwt)
<i>VWT</i>	<i>Voith Water Tractor</i>
<i>WRF</i>	<i>Weather Research and Forecasting</i> (Modelo de Predicción Meteorológica)

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 MARCO REFERENCIAL

Según el diccionario de la Real Academia Española, amarrar un buque consiste en “*sujetarlo en el puerto o en cualquier fondeadero por medio de anclas y cadenas o cables*”. Si bien la definición refleja la filosofía principal del amarre, se encuentra lejos de indicar la complejidad técnica que supone en la actualidad dicha operación, que dista mucho de aquellos tiempos en los que la propia tripulación del buque encapillaba los cabos a los norayes de tierra de acuerdo a la práctica marinera tradicional.

El objetivo principal del amarre moderno, a nuestro entender, es mantener la posición del buque de manera que permita realizar con seguridad las operaciones de carga y descarga, teniendo en cuenta que sobre el mismo actúan fuerzas de diversa naturaleza y magnitud, entre las que cabe destacar:

- La altura de la marea.
- El viento.
- La corriente originada por la marea o la acción de un río.
- Las olas causadas por el viento.
- Las variaciones en el calado del buque.
- Las olas provocadas por otros buques pasando cerca del atraque.

Con el objeto de contrarrestar estas fuerzas y reducir el movimiento del buque hasta niveles aceptables, el maniobrista cuenta con un conjunto de medios a bordo (maquinillas, cabrestantes, bitas, guías, cabos, etc.) que, junto con aquellos dispuestos en el muelle (norayes, defensas, ganchos de maniobra,...) han de conformar un **sistema de amarre** de acuerdo a una **disposición** determinada. Es fundamental, de esta forma, que unos y otros sean **compatibles** para lograr el propósito buscado.

Esta compatibilidad se verá reflejada en dos aspectos fundamentales:

1. La ubicación física de los medios del muelle ha de corresponderse con los del buque para conseguir una disposición efectiva.
2. La resistencia individual de cada una de las líneas de amarre vendrá determinada por el elemento más débil de la cadena¹.

Sin embargo, la gran variedad de buques existente en relación a su tamaño, formas y medios para su carga y descarga, así como la diversidad mundial de instalaciones portuarias, propician que la estancia segura del buque en puerto supere en ocasiones los límites de la ciencia para convertirse en un arte.

¹ Con ello se quiere expresar que de poco serviría encapillar tres cabos de 100 tons de carga de rotura a un mismo noray que posea una carga de trabajo de 80 tons.

Las características variables y muchas veces impredecibles de las fuerzas de la naturaleza que provocan el movimiento del buque obligan a que el sistema de amarre haya de comportarse de manera **elástica**, comprometiendo, de esta forma, su posición relativa con respecto al muelle. Un sistema rígido no permitiría su desplazamiento pero, por el contrario, traería como resultado una mayor fragilidad ante fuerzas de gran magnitud y corta duración. Será necesario, por lo tanto, buscar un equilibrio entre elasticidad y margen de movimiento en torno a la posición más efectiva con relación al muelle, que vendrá determinado por las características de los medios de carga y descarga (mangueras, operaciones con grúas, plataformas de acceso a bordo, etc.).

Otra característica importante de los sistemas de amarre la constituye su limitación en cuanto al **manejo** de los medios, especialmente los cabos. El avance experimentado como resultado del desarrollo de nuevos materiales que proporcionan una mayor resistencia por unidad de peso, junto con el mayor grado de mecanización de las instalaciones portuarias que permiten recoger los cabos del buque con menor esfuerzo, han propiciado el uso de líneas de amarre cuya resistencia sería inimaginable hace unos pocos años. Como contrapartida, la evolución del mercado del transporte marítimo hacia buques de una capacidad cada vez mayor lleva consigo un incremento en las superficies de exposición al viento y la corriente que, en consecuencia, induce la aparición de fuerzas de mayor magnitud.

Las disposiciones de amarre actuales emplean hasta un total de 24 cabos para garantizar su resistencia ante condiciones meteorológicas adversas, lo que complica enormemente la **distribución homogénea** de las fuerzas entre tantos elementos. Para conseguir tal fin, existen dos componentes fundamentales que deben de tenerse siempre presentes, tanto en su etapa de diseño como en su mantenimiento:

1. Los calabrotes, que proporcionan la elasticidad necesaria cuando se emplean cabos rígidos, favoreciendo, a través del estiramiento de las líneas de amarre con más carga, la contribución de aquellas otras inicialmente sometidas a menor tensión.
2. Los frenos de las maquinillas, fundamentales en la resistencia del conjunto, cuya misión es la de lascar el cabo antes de que se produzca su rotura, aliviando de esta forma su tensión y favoreciendo el reparto de cargas hacia otros componentes del sistema.

La conjunción de los factores mencionados (compatibilidad, elasticidad y distribución en múltiples líneas de fuerza) conforman un sistema tan complejo que determina que tanto la operación de amarre como la estancia del buque en el muelle constituyan una situación **potencialmente peligrosa** que pudiera derivar en un accidente que provocase daños a:

- **Las personas:** debido a que los elementos de amarre almacenan una gran cantidad de energía en forma de tensión, que en caso de rotura será liberada repentinamente provocando desplazamientos a gran velocidad (latigazo).

- **El Medio Ambiente:** ya que la marcha a la deriva de un buque puede causar vertidos procedentes de su carga o de los tanques de consumo.
- **Las instalaciones:** cuya operatividad puede verse afectada induciendo pérdidas económicas elevadas.
- **La imagen:** de especial repercusión cuando ésta se asocia a la prevención de riesgos laborales, como es el caso de los buques dedicados al transporte de productos derivados del petróleo (“*safety first*”).

La operación de amarre cuenta además con otro factor de riesgo importante, constituido por el hecho de que su ejecución requiere la participación de dos grupos de trabajo (amarradores y tripulación) que, a la vez de numerosos, son desconocidos entre sí y frecuentemente hablan lenguas diferentes, lo que dificulta en gran medida la labor de coordinación.

Conocida la problemática del amarre, a nadie puede extrañar que se alcancen índices de accidentabilidad tan altos como los que reflejan los registros e informes.

La instalación portuaria no puede obviar todas estas circunstancias y ha de asumir su parte de responsabilidad, contemplando en su Plan de Emergencia la posibilidad de que un buque amarrado en sus muelles pueda encontrarse sometido a la acción de fenómenos meteorológicos adversos. A través de la correspondiente **evaluación de riesgos** se establecerán aquellas medidas preventivas que se consideren oportunas, además de definir una serie de acciones a corto o medio plazo que sean capaces de minimizar los efectos de un posible siniestro de estas características.

Con toda probabilidad, las medidas preventivas estarán encaminadas hacia la formación del personal que interviene en estas operaciones y el desarrollo de procedimientos estandarizados, entre los que cobra especial relevancia el diseño de un plan previo a la llegada del buque que contemple la resistencia del sistema a aquellos efectos producidos por las **condiciones meteorológicas características** del lugar de amarre.

Si bien algunas asociaciones de armadores de buques que transportan mercancías peligrosas han afrontado este problema editando guías que pueden facilitar esta labor y el mercado ha puesto a disposición software específico que simplifica su cálculo, desafortunadamente, no existen reglas oficiales que regulen los requerimientos mínimos de un sistema de amarre. Las referencias citadas no suponen más que meras recomendaciones, cuyo seguimiento dependerá exclusivamente de la conciencia preventiva de la dirección de la instalación portuaria.

Esta carencia se refleja de forma especial en aquellos puertos destinados a la carga y descarga de **mercancías no peligrosas** que reciben buques de tamaño considerable y, en algunos casos, con una gran superficie de exposición al viento y la corriente, tales como *ferries*, portacontenedores o cruceros. La magnitud de las fuerzas que se originan en estas circunstancias requiere que la instalación portuaria se encuentre dotada de los medios de amarre necesarios para poder contrarrestarlas. Sin embargo, con frecuencia se materializan dos factores que dificultan en gran medida este requerimiento:

1. El uso para este fin de muelles antiguos que han sido diseñados para albergar unidades más pequeñas basándose en disposiciones tradicionales (amarre con largos y esprines) que dejan de ser efectivas en estas situaciones.
2. Los problemas de compatibilidad que surgen entre el amarre y los medios de carga y descarga, tal es el caso de los caminos de rodamiento de las grúas de carga de contenedores y las pasarelas de acceso a bordo de cruceros, que no permiten la disposición de cabos de través.

De cualquier forma, entendemos que la obligación de la instalación portuaria en estas circunstancias se limita a fijar, a través de un cálculo de fuerzas, los **límites** hasta los que, tanto las **operaciones**, como la **estancia** del buque en el muelle, pueden considerarse seguras, independientemente de que sus muelles se encuentren mejor o peor dotados para afrontar una situación de riesgo, tal como una **alerta roja** por viento. Es decir, se habrán de definir claramente en el Plan aquellos parámetros que obligarán a la detención de las operaciones, a la petición de auxilio de remolcadores y a la salida prematura del puerto.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El ámbito de investigación que se pretende abordar en esta Tesis queda acotado al estudio del amarre de buques en los muelles de un astillero (Navantia Ría Ferrol) y, más concretamente, a su Unidad Productiva dedicada a las reparaciones navales tanto de unidades civiles como militares.

La especialización adquirida por esta Unidad a lo largo de los últimos años en las reparaciones de buques de transporte de gas licuado (en adelante, LNG), ha dado como fruto un incremento notable en la **frecuencia** con la que éstos se encuentran presentes en sus instalaciones. La baja densidad de la fase líquida del gas natural (451 kg/m^3), unida a la tendencia mundial hacia la construcción de unidades que alberguen la máxima cantidad de carga posible, han propiciado que los buques dedicados a este transporte posean como una de sus características fundamentales una **superficie de obra muerta** de elevadas dimensiones, que les hace especialmente sensibles a un episodio de condiciones atmosféricas adversas y, de forma muy especial, al viento.

Aparte de estos dos factores (frecuencia de ocupación y exposición al viento) confluyen otras circunstancias de gran importancia que no pueden obviarse:

- Situación geográfica: El astillero motivo de nuestro estudio se encuentra situado en el Noroeste de la península ibérica, caracterizado **climatológicamente** por constituir, durante el invierno, una de las principales vías de entrada a Europa de profundas borrascas y sistemas frontales formados sobre el Océano Atlántico.
- Muelles: Tal y como desarrollaremos a lo largo de este trabajo, existe un total de siete muelles disponibles que podrían albergar este tipo de buques. Cada uno de ellos posee orientaciones y medios de amarre dispares, que han sido modificados a lo largo del tiempo y de forma

independiente de acuerdo con las exigencias del mercado, aunque ninguno de ellos ha sido **específicamente diseñado** para el amarre de buques LNG.

- Los trabajos de reparación: Debido a que la capacidad de carga y alcance de las **grúas** de sus muelles constituye un elemento diferenciador de cualquier instalación dedicada a la reparación de buques, será de vital importancia su compatibilidad con los sistemas de amarre empleados, con el fin de que no se comprometa la productividad de los medios en un entorno caracterizado por un mercado extremadamente competitivo y especialmente sensible en cuanto a los plazos de ejecución.

Si conjuntamos los cinco factores mencionados, resulta evidente la necesidad de considerar el riesgo y, en consecuencia, evaluarlo y establecer todas cuantas medidas preventivas se estimen necesarias para minimizarlo.

La solución final del problema, sin embargo, diferirá en gran medida de aquella adoptada en un muelle comercial (fijando los límites de operación, petición de ayuda y estancia en el puerto) por las probables restricciones operativas del buque, determinadas por alguna de las siguientes circunstancias:

- Las actuaciones que se estén llevando a cabo sobre aquellos sistemas que afecten a su propulsión (intervenciones en la máquina principal, eje de cola, calderas de propulsión o sistemas auxiliares esenciales).
- La inoperatividad de las maquinillas de amarre debida a trabajos de mantenimiento, reparación o mejora.
- La dependencia de la energía suministrada por el astillero para efectuar el movimiento de las maquinillas de amarre (aire comprimido, en el caso de propulsión con vapor, o energía eléctrica, en el resto).
- La posible interferencia con otro tipo de trabajos (generadores auxiliares, planta eléctrica, renovaciones importantes de acero o tubería, etc.) que imposibilitarían su navegación segura.

Esta coyuntura nos posiciona en un marco completamente distinto. El hecho de que el Capitán del buque disponga de unos medios que en ciertos casos se encuentran limitados y, en otros, totalmente dependientes del Astillero, desplazará el límite que determina hasta donde llegan sus obligaciones, de aquellas correspondientes a la instalación de tierra, modificando, en consecuencia, sus respectivas **responsabilidades**.

De acuerdo con lo expuesto, las líneas de actuación encaminadas a reducir los riesgos se verán drásticamente afectadas y habrán de direccionarse con el propósito de que el buque pueda afrentar una alerta roja sin moverse de las instalaciones de astillero.

1.3 HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS

El estado actual de las investigaciones y desarrollo de la técnica referente a la problemática del amarre de buques en reparación en los muelles de un astillero, **no han tenido un tratamiento específico e individualizado en España**, aspecto que se estima que deviene particularmente relevante si, como se mencionaba anteriormente, tenemos en cuenta las probables restricciones operativas del buque en este caso, a lo que hay que añadir la tendencia hacia el incremento imparable de tamaño de los buques mercantes que se produjo a partir de la década de los 60 del pasado siglo, que ha hecho más complicado continuar amarrado con seguridad cuando los fenómenos meteorológicos del viento y corriente incrementan su intensidad, pues las fuerzas que se generan son proporcionales a la superficie de obra muerta o viva sobre la que inciden respectivamente y al cuadrado de su intensidad.

El escenario inicial, así planteado, se compone de un conjunto de buques amarrados en el astillero y la recepción repentina de una notificación anunciando vientos muy fuertes. Con una probabilidad muy alta, ocurrirá además que una parte de los mismos corresponderá a aquellos identificados como de mayor riesgo ante situaciones de estas características (LNG).

La dirección del centro podría adoptar, como consecuencia de la alerta recibida, dos actitudes bien diferenciadas:

- **Reactiva:** Consistente en ponerse a disposición de los capitanes y prestar ayuda en todo lo que se le demande.
- **Pro-activa:** Afrontar la dirección de la emergencia y coordinarse con cada uno de ellos.

Si bien la primera de ellas requiere menor esfuerzo e inversión, se concluirá a lo largo de este estudio que la mejor defensa de la dirección ante la ocurrencia de un accidente es haber adoptado desde el inicio una posición pro-activa. Tal filosofía de actuación no permite que la respuesta se limite a las acciones posteriores a la recepción de la alerta, sino que requiere una preparación anterior que se traduce en una evaluación de riesgos y la puesta en marcha de una serie de acciones encaminadas a mitigarlos.

Este proceso requerirá respuestas adecuadas a un buen número de preguntas, tales como:

- ¿Poseen los muelles los puntos de amarre necesarios como para resistir las fuerzas generadas por el viento?
- ¿Se dispone de un método de cálculo que permita determinar si el diseño de cada disposición de amarre es correcto?
- ¿Es suficiente el número de defensas como para evitar su rotura?
- ¿Es efectiva la contribución de un remolcador empujando en sentido contrario al viento?
- ¿Se dispone de medios de refuerzo en el caso de que los propios del buque no fuesen suficientes?

- ¿Es compatible la disposición de amarre diseñada con la operación de los medios auxiliares del muelle?
- ¿A quién se debe notificar una situación de riesgo especial?

En este contexto, siendo conocedores de que la situación no nos deja otra posibilidad ante la recepción de una notificación de tales características, los objetivos que marcarán el desarrollo de esta Tesis a la vez de claros, poseen un mismo nivel de importancia:

1. Conseguir **la resistencia necesaria** en el amarre capaz de afrontar las condiciones anunciadas por la alerta.
2. **Organizar la emergencia** de forma efectiva con el fin de evitar cualquier accidente.

El camino hacia la consecución de cada uno de ellos se orienta de forma totalmente diferente. Mientras que el primero posee un carácter eminentemente técnico, la organización de la emergencia implica un estudio legislativo básico que nos permita desarrollar una serie de procedimientos de actuación a la vez de alinear nuestro plan de emergencia con aquellos de rango superior.

Es preciso indicar que este trabajo no tiene por objeto el desarrollo de un análisis legal minucioso, ni tampoco de métodos de cálculo de resistencia complejos que nos permitieran conocer con exactitud la intensidad de viento que pudiera soportar una disposición de amarre determinada. Por el contrario, conociendo la incertidumbre propia de las previsiones meteorológicas, trataremos de establecer una guía de actuación que identifique de forma práctica las acciones que pueden minimizar los riesgos y nos permitan afrontar el episodio con una cierta tranquilidad.

1.4 METODOLOGÍA Y DESARROLLO

El contenido de la presente investigación precisa de un soporte metodológico capaz de orientar nuestro trabajo hacia la consecución de los objetivos fijados y establecer las conclusiones finales. Su desarrollo se ha estructurado en tres bloques temáticos que, aunque poseen unas características específicas y una evolución independiente, se interrelacionan entre sí, tal y como trata de reflejar la figura 1.1.

El primero de estos bloques (identificación de responsabilidades) contempla en su inicio dos hipótesis de partida diferentes a la que nos ocupa, que se concretan en el análisis de obligaciones durante el periodo de aviso de una alerta roja en una terminal de carga/descarga de productos petrolíferos y en una sociedad concesionaria de una actividad comercial en muelle. Conjuntando las normas aplicables a cada una de estas situaciones con las recomendaciones emitidas por los organismos oficiales de investigación de accidentes resultantes de casos similares, estaremos en disposición de identificar una serie de obligaciones genéricas que se le supone a cualquier instalación portuaria.

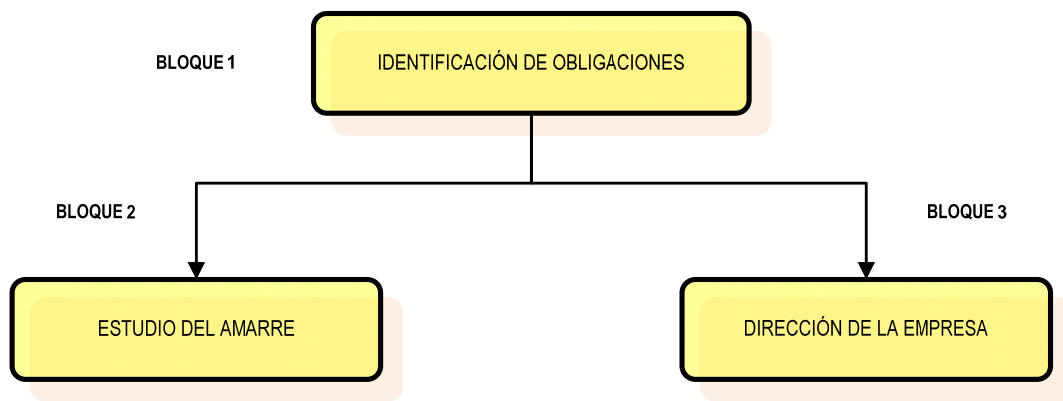


Figura 1.1 Estructuración en bloques temáticos

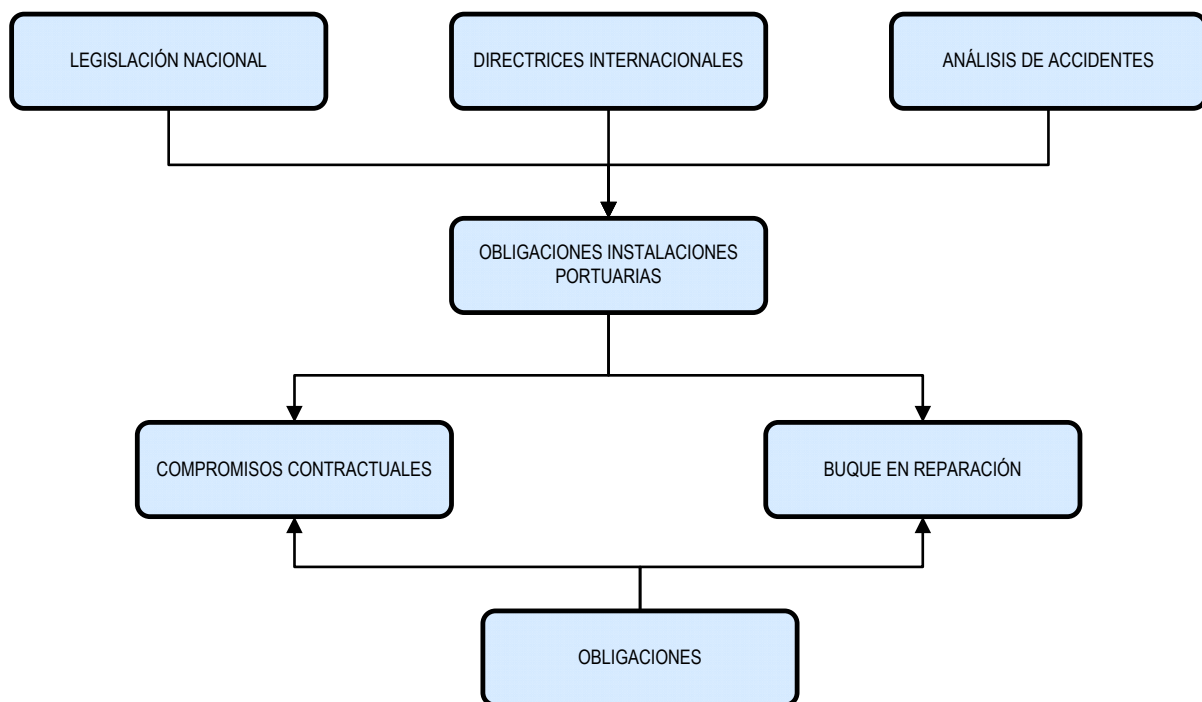


Figura 1.2 Desarrollo del bloque 1 (identificación de responsabilidades)

Extrapolando éstas al ámbito específico de un buque en reparación, que posee unas restricciones de operatividad importantes, concluiremos en la necesidad de mantener, como hemos adelantado, una actitud pro-activa en todo momento, aunque será importante tener presentes aquellos compromisos adquiridos en el contrato acordado antes de la llegada del buque.

Las responsabilidades identificadas tras este análisis orientarán el desarrollo posterior de nuestro trabajo hacia los dos objetivos mencionados, que evolucionarán en forma de dos bloques independientes.

La sección correspondiente a la **resistencia del amarre** (bloque número 2) trata de establecer, en una primera fase, las **condiciones básicas** en el amarre de un buque LNG de dimensiones tales que pueda

ser varado en el mayor de los diques disponibles, referidas al número de largos, esprines y traveses necesarios para sostener el buque en el muelle ante unas previsiones determinadas.

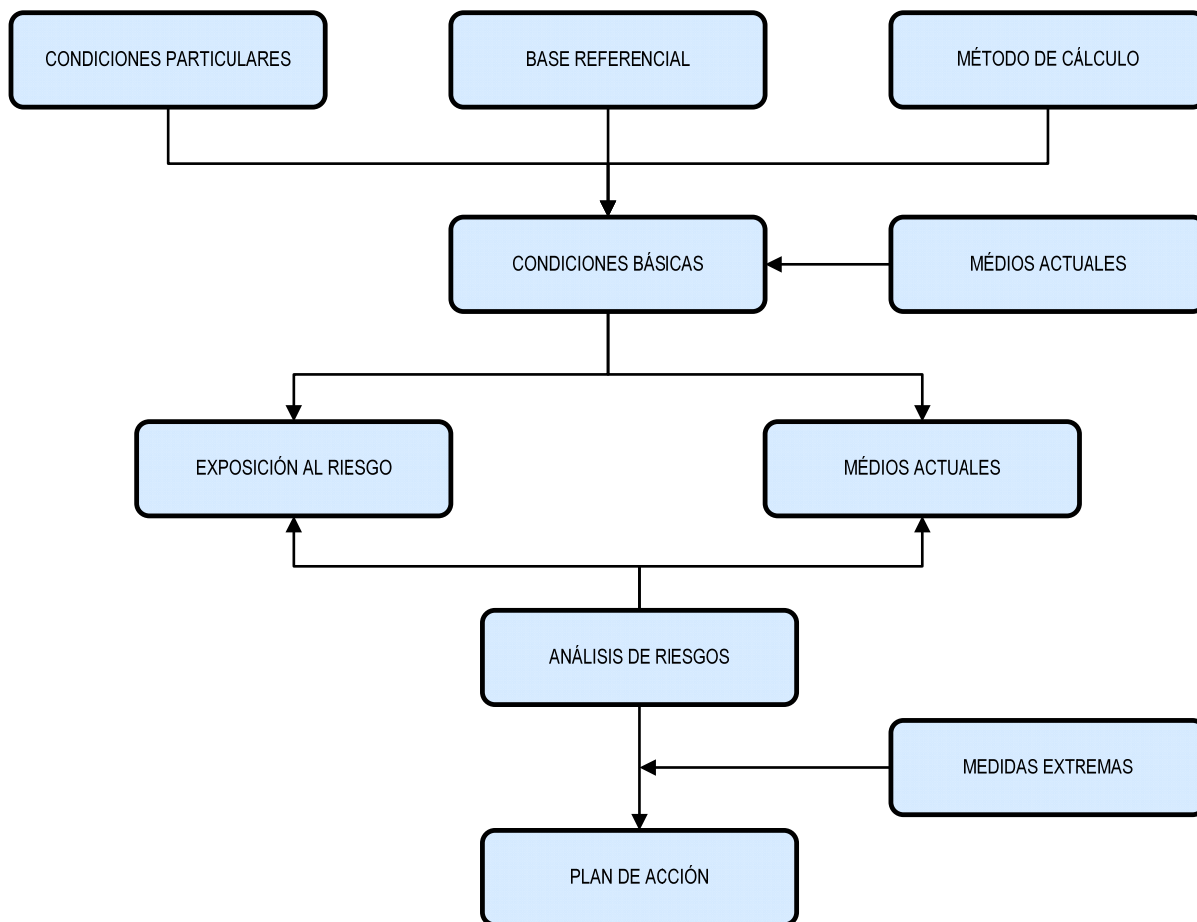


Figura 1.3 Desarrollo del bloque 2 (Resistencia del amarre)

Para ello, se habrán de concretar previamente los aspectos siguientes:

- Establecimiento de las condiciones meteorológicas particulares a las que pueden verse sometidos los muelles de Navantia Ría de Ferrol, que implicará estudios específicos destinados a caracterizar las olas, los vientos y las corrientes que pudieran afectar a la seguridad de la estancia de los buques.
- Elaboración de una base técnica de referencia que nos permita conocer la disposición idónea de los cabos, así como las características fundamentales de aquellos elementos que la componen, tanto desde el punto de vista del buque como desde el del muelle.
- Desarrollo de una herramienta de cálculo capaz de cuantificar las fuerzas generadas por la acción de los elementos meteorológicos referidos, así como la resistencia de una disposición de amarre. Este método habrá de ajustarse a las necesidades del astillero, es decir, de manejo sencillo, veraz, rápido y extrapolable a cualquier tipo de buque.

Aquellas condiciones básicas obtenidas en la primera fase, tras ser verificadas con el software especializado disponible en el mercado, nos permitirán determinar si las defensas y los medios de amarre disponibles en cada uno de los muelles son adecuados o, por el contrario, necesitan de un **plan de acción** de mejora. Las prioridades de dicho plan vendrán definidas por la conjunción de tres índices:

- Frecuencia de utilización del muelle.
- Exposición al riesgo por condiciones meteorológicas adversas, determinada por su orientación.
- Grado de cumplimiento actual con los medios mínimos fijados.

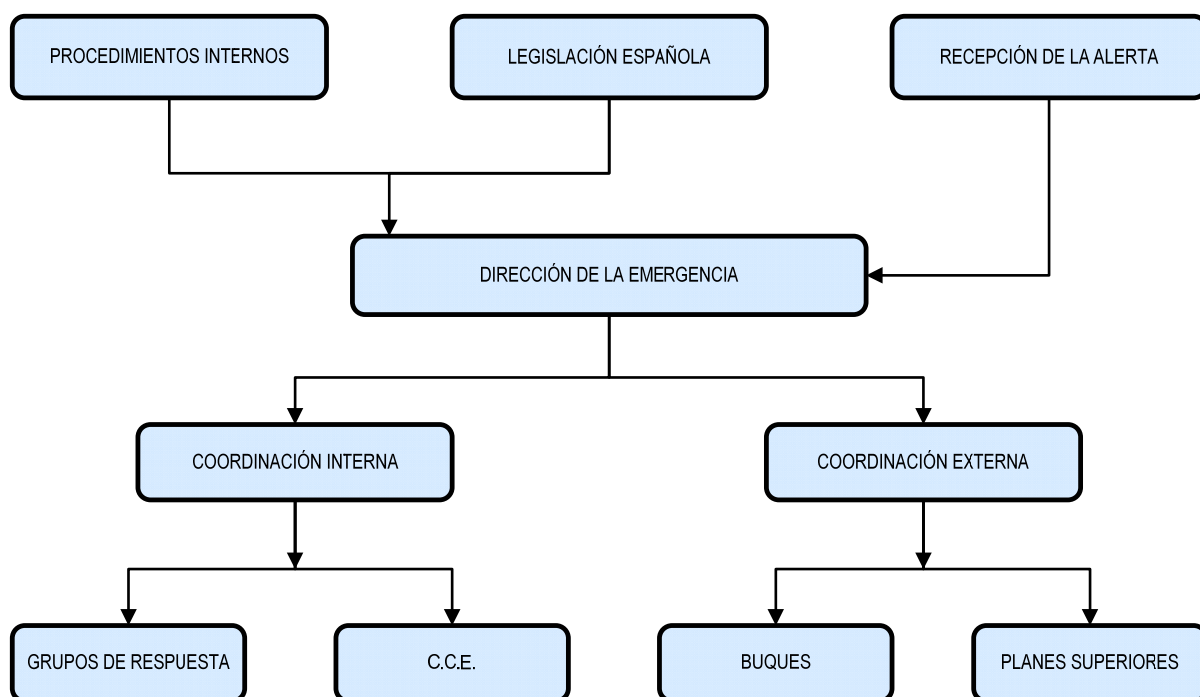


Figura 1.4 Desarrollo del bloque 3 (Dirección de la Emergencia)

En el desarrollo de la Tesis se plantea también la posibilidad de que las condiciones anunciadas en la alerta pudieran superar aquellas fijadas por medio del análisis histórico realizado. Para afrontar tal situación, será necesario, por una parte, profundizar en el conocimiento de todas las posibilidades de amarre de las que dispone un buque moderno y, por otra, analizar la efectividad de medidas alternativas, tales como el fondeo del ancla, utilización de remolcadores, posibilidad de empleo de los remolques de emergencia de proa y popa, etc.

El tercer bloque de nuestro trabajo (Dirección de la Emergencia) afronta el segundo de los objetivos planteados y nos dirigirá hacia el desarrollo de procedimientos que persigan evitar la improvisación en el momento que se reciba realmente la alerta.

Para alcanzar tal fin, será necesario, en una primera fase, conocer tanto la legislación española como los procedimientos internos en vigor, para adaptarlos posteriormente con miras a conseguir una Dirección de la Emergencia efectiva.

Desarrollaremos, asimismo, un sistema informático que nos facilite la identificación de la alerta con la mayor antelación posible y su difusión de forma automática, para hacer posible una respuesta más segura y mejor organizada.

La segunda fase tiene por objeto establecer las bases que faciliten la dirección a través de listas de comprobación y plantillas documentales, además de asegurar la coordinación, tanto interna (grupos de respuesta propios), como externa (capitanes y Autoridades responsables de aquellos planes de emergencia de rango superior que pudieran verse afectados).

1.5 CONTENIDO

La disciplina sobre el amarre del buque se halla en permanente evolución, ya sea por la continuidad con la que se suceden las innovaciones tecnológicas, ya por la propia mutabilidad del tráfico marítimo y el diseño de los buques que tal consecuencia trae aparejado. Estas razones descritas con carácter general, junto con las más específicas expuestas anteriormente en la “Descripción del Problema”, fueron las que llevaron a este doctorando, coordinado y apoyado en esta idea por su Director, a estimar la conveniencia de centrar la investigación sobre esta materia con la intención de ofrecer una visión actualizada sobre la misma. Dada la trascendencia del tema, se ha adoptado como foco central y título de la Tesis “***EL AMARRE DE BUQUES EN REPARACIÓN: ACTUACIÓN ANTE ALERTAS METEOROLÓGICAS***”.

El análisis de la problemática en profundidad abarcando todos los fenómenos que intervienen en el proceso del amarre de un buque en puerto deja palpable la multitud de parámetros a tomar en consideración cuando se trata de abordar desde un punto de vista científico esta fase de operación de un buque; tarea que resulta imprescindible si queremos adoptar una actitud general pro-activa, mucho más relevante si cabe, en el ámbito al que queda referida y acotada la investigación de esta Tesis: el amarre de buques para reparación en los muelles de un astillero.

El desarrollo del presente Trabajo ha requerido el manejo y utilización de una cantidad importante de documentación que no se encuentra disponible públicamente, así como hojas de cálculo y planos de disposición que difícilmente pueden plasmarse en un soporte de papel manejable.

Se ha creído conveniente, por tanto, organizar en forma de Anexos toda esta información, y ponerla a disposición del lector en un dispositivo de almacenamiento electrónico que se adjunta al documento escrito, de manera que permita su consulta o impresión en caso necesario.

Atendiendo al esquema metodológico establecido, tanto la propia Tesis como los Anexos correspondientes se articulan en una estructura conformada por diez capítulos:

- I. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.
- II. ESTADO DEL ARTE.
- III. LA ESTANCIA SEGURA DEL BUQUE EN PUERTO. DELIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES.
- IV. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES PARTICULARES DE LA ZONA.
- V. CÁLCULO DE AMARRES.
- VI. ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE ATRAQUE Y AMARRE.
- VII. NOTIFICACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS.
- VIII. MEDIDAS EXTREMAS DE CONTINGENCIA.
- IX. GESTIÓN DE LA EMERGENCIA
- X. CONCLUSIONES Y DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.

El **primer Capítulo** recoge una introducción y plantea el problema objeto de nuestro trabajo en el entorno de un astillero de reparaciones navales, definiendo asimismo los objetivos y los bloques temáticos a desarrollar.

El **Capítulo segundo**, además de describir las líneas de actividad y características principales de Navantia Ría de Ferrol, nos interna en el mundo del amarre desde el punto de vista técnico, analizando las fuerzas que actúan sobre el buque, los principios fundamentales que lo regulan y definiendo los elementos que lo componen. Por su contribución fundamental a la resistencia del sistema, los cabos y sistemas de frenado de las maquinillas poseen un tratamiento especial.

El desarrollo del bloque 1 identificado en la sección anterior se afronta a lo largo del **tercer Capítulo** y su evolución está marcada por un estudio de tipo legislativo, realizado de forma conjunta con otro de carácter histórico (analizando un buen número de accidentes directamente relacionados con el problema que nos ocupa), con el propósito de extraer las obligaciones que se le suponen a una instalación portuaria y extrapolarlas posteriormente al entorno de un Astillero de Reparación.

El **Capítulo cuarto** tiene por objeto el establecimiento de las condiciones meteorológicas particulares de la zona, que se definirán a través de una investigación histórica de las bases de datos obtenidas de las estaciones climatológicas cercanas al puerto de Ferrol. De su resultado dependerán caracterizaciones tan importantes como la velocidad de racha máxima, direcciones probables, estacionalidad y frecuencia de los temporales, que constituirán uno de los dos pilares fundamentales en los que se asienta la consiguiente evaluación de riesgos.

La singularización de las corrientes en la Ría de Ferrol se obtendrá a partir de estudios existentes, ya que su importancia dista de alcanzar aquella correspondiente a la acción del viento.

El **Capítulo quinto** desarrolla la herramienta de cálculo necesaria para evaluar la seguridad de las disposiciones de amarre que conformará el segundo pilar base de la evaluación, ya que nos ofrecerá la posibilidad de cuantificar las fuerzas debidas a la acción de los elementos caracterizados en el capítulo anterior y su comparación con la resistencia global de sistema de amarre.

Su exposición se plantea a modo de manual de instrucciones, progresando secuencialmente en cada uno de los procesos de elaboración (introducción de datos, acción del viento, acción de la corriente, sistema de defensas y presentación de resultados) hasta configurar el informe final. La última fase del Capítulo, sin embargo, está dedicada a validar los resultados obtenidos para diversos buques de transporte de gas licuado, verificando que son acordes con aquellos resultantes del software especializado aplicado en idénticas condiciones.

La evaluación de riesgos de cada uno de los muelles de Navantía Ría de Ferrol se expone y analiza a lo largo del **Capítulo 6**. Da comienzo definiendo los requerimientos mínimos exigibles a las defensas del muelle, contemplando la problemática de la maniobra de atraque y posteriormente determinando la resistencia mínima exigible a los puntos de amarre, tanto en sentido longitudinal como transversal.

En su parte final se propone un plan de acción que implica la adquisición paulatina de medios que puedan minimizar los riesgos evaluados.

El **Capítulo séptimo** detalla el diseño de un proceso informático que trata de complementar los procedimientos oficiales de recepción de las alertas, con el fin de minimizar los retrasos producidos, tanto en su recepción como en su difusión, que se evidencian especialmente durante los fines de semana. Pudiera ocurrir, sin embargo, que la alerta recibida advirtiera de unas condiciones más desfavorables que aquellas establecidas como “*particulares*”. Tal situación se plantea a lo largo del **Capítulo octavo**, que intenta resolverla con la ayuda de estudios dinámicos que simulan la evolución del buque ante el caso de la rotura de sus cabos en cascada. Esto nos permitirá analizar la baja efectividad de medidas tradicionales, como el auxilio de remolcadores, a la vez que proponer otras que se derivan de un estudio detallado de las posibilidades de fondeo y amarre de un buque moderno (dispositivos de remolque, puntos de amarre especiales, cadenas, ...).

Sabiendo que uno de los inconvenientes principales asociados a la llegada de temporales es el fallo de energía eléctrica, analizaremos las posibilidades de mantener este servicio de manera ininterrumpida a través del estudio de las redes de distribución actuales de los dos centros que el astillero posee en la Ría de Ferrol y de la viabilidad de diferentes soluciones.

Termina este Capítulo afrontando una situación que se materializa con relativa frecuencia y deja al buque especialmente desprotegido ante la acción de vientos fuertes, tal como el encargo por parte del armador de la renovación de las gazas de los extremos de los cabos de amarre con el fin de prolongar su vida útil. Dos diferentes alternativas, estudiadas tanto desde el punto de vista técnico como económico, ofrecen la solución al problema.

El **Capítulo noveno** aborda la gestión de la Emergencia y la programación de las actuaciones necesarias en el tiempo transcurrido desde que se recibe la alerta hasta que ésta se declara como finalizada. En su

contenido se afrontan cuestiones tan importantes como el desarrollo del organigrama del Comité de Emergencia, los requisitos exigibles al Centro de Control de Operaciones y la identificación de obligaciones de coordinación y puntos de contacto con las Autoridades responsables de un plan de Emergencia superior.

Finalmente, en el **Capítulo décimo** se presentan las conclusiones de la investigación realizada, proponiendo nuevas líneas de investigación que continúen el camino emprendido. En especial, cabe mencionar la oportunidad que se le presenta al Astillero de mejorar el servicio a sus clientes adaptando alguno de sus muelles con el fin de facilitar reparaciones puntuales en condiciones distintas a las de “*gas-free*”², como respuesta a la demanda de los armadores de resolver ciertos problemas puntuales que surgen habitualmente durante la explotación del buque, tales como una avería importante en un generador, en el sistema de fondeo o cualquier otra actuación que necesite del auxilio de una grúa exterior.

Esta adaptación necesita del respaldo de una evaluación de riesgos que contemple no solamente aquellos propios del buque con carga (similares a los de una terminal), sino también de su interacción con los medios auxiliares del muelle. De tal evaluación se derivará un plan de acción del que habrá que determinar su viabilidad.

La propuesta, en caso de definirse como viable, posicionará ventajosamente al Astillero por ofrecer una alternativa que evita las operaciones de vaporización, inertizado y aireación previas a la llegada y su repetición de forma inversa, tras su salida, que suponen, en conjunto, un impacto económico relevante para el armador.

A lo largo del texto aparecen las referencias bibliográficas más significativas y se intercalan figuras en su momento o, en algunos casos, en la página inmediatamente siguiente, con el fin de dotar de una mayor claridad al conjunto, incluyendo también la referencia, en caso de tenerla. Debido a la materia objeto de esta tesis, las figuras adquieren un valor relevante y por ello se utilizan con gran profusión allí donde se considera conveniente, muchas de ellas elaboradas por este doctorando con el programa informático *Autocad 2012*, con el fin de conseguir una óptima presentación.

Por el mismo motivo, también se insertan muchas fotografías, la mayoría de ellas realizadas por el propio autor y otras obtenidas básicamente a través de internet (oportunamente referenciadas), al objeto de lograr una mayor comprensión en las diferentes materias.

De igual modo, se introduce un índice general de los apoyos gráficos ilustrativos, que facilite al lector una visión general de los mismos y una relación de definiciones y acrónimos en inglés propios del argot que define el mundo del amarre.

² En la actualidad, en condiciones normales, es necesario que se acredite la condición de “*gas free*” de los tanques de los buques petroleros o de transporte de gas licuado para proceder a su autorización de entrada al Astillero.

Por último, y como es de rigor, se incluye la relación alfabética de autores de la Bibliografía consultada, el registro de informes técnicos y legislación aplicable que se ha sido utilizada y un directorio de las páginas web más relevantes que sirvieron de ayuda para la elaboración de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

Prevía a la llegada de un buque de transporte de mercancías peligrosas a una terminal de carga o descarga es preceptiva la realización de un estudio de compatibilidad buque-muelle que confirme que las operaciones pueden realizarse con total seguridad teniendo en cuenta no sólo aquellos aspectos relativos al bombeo del producto, como pueden ser las características de los brazos de la terminal, retornos de vapores a tierra o los límites de caudal y presión de los fluidos durante la transferencia de carga, sino también en lo referente a la seguridad de su amarre.

Para ello se han de analizar, de forma particular para el buque en cuestión, las características del muelle tales como su calado, eslora, distribución de defensas y disposición de elementos de amarre, con el fin de evaluar el cumplimiento de las normativas internacionales, que estudiaremos con más detalle en capítulos posteriores, así como la posible exposición especial al riesgo por condiciones meteorológicas adversas que la propia zona pudiera sufrir.

Si bien el procedimiento es claro cuando se transportan mercancías peligrosas, no lo es tanto cuando el buque está desgasificado y preparado para entrar en un astillero de reparación, máxime teniendo en cuenta la premura con la que, en muchos casos, el armador prepara las especificaciones de trabajos y designa el astillero de destino.

La flexibilidad de un astillero de reparaciones es primordial en cuanto a la preparación de amarres seguros de buques de diversos tipos y tamaños acomodados en distintos muelles en un mundo marcado por una gran competitividad, tanto desde el punto de vista económico como, y de forma muy especial, del plazo total de reparación. La consecución de dicha flexibilidad ha de realizarse a través del conocimiento tanto de las instalaciones propias como de los sistemas de amarre de los buques que se verá reforzada con la experiencia atesorada a lo largo de los años.

En las líneas siguientes intentaremos dar una visión general de Navantia Reparaciones Fene-Ferrol (en adelante NRFF), empresa objeto de nuestro estudio, indicando sus principales líneas de actividad y las características fundamentales de sus muelles. De otro lado, estudiaremos las fuerzas a las que estarán sometidos los buques, sus medios de amarre característicos y las disposiciones internacionales que sirven de guía para la consecución de amarres seguros, prestando especial atención a los buques de transporte de gas licuado debido a que es el tipo que con mayor frecuencia visita estas instalaciones así como por su gran francobordo que incrementa en gran medida su exposición al riesgo por vientos fuertes.

2.2 NAVANTIA REPARACIONES RÍA DE FERROL

NRFF es una empresa perteneciente al grupo SEPI (Sociedad Española de Participaciones Industriales) dedicada a la reparación y transformación de buques, tanto civiles como militares. Está situada en el Noroeste de la Península Ibérica (43° 28' N, 008° 14' W), cerca de las más importantes rutas comerciales europeas, facilitando a los armadores un fácil acceso y una mínima desviación.

Forma parte del grupo Navantia que, junto con los centros de Cádiz y Cartagena componen el mayor grupo naval de España y uno de los diez mayores del mundo, contando con más de 300 años de experiencia en este sector.

NRFF se ha formado a raíz de la fusión de las antiguas Bazán y Astano. Por este motivo, sus instalaciones están divididas entre los Ayuntamientos de Ferrol y Fene, y son compartidas con otras dos secciones de la empresa (Factoría Naval, dedicada a la construcción naval militar y Fábrica de Turbinas), así como con la Armada Española para el atraque de sus grandes unidades militares.



Figura 2.1 Vista de la Ría de Ferrol. Fuente: NRFF

Ambos astilleros se encuentran muy bien conectados con el resto de España y Europa a través de autopistas, líneas de tren, puertos mercantes y los aeropuertos internacionales de La Coruña y Santiago de Compostela. Disponen de una importante industria local que los circunda, repartida entre las ciudades de Ferrol, Fene, Narón y La Coruña que facilitan el soporte necesario para ofrecer toda clase de servicios a armadores, tripulaciones y servicios técnicos de los fabricantes de equipos.

Las instalaciones dedicadas a la reparación de buques incluyen cuatro diques, más de cuatro mil metros de muelles de hasta doce metros de calado máximo, capacidad de grúa de hasta 100 toneladas, suministro de corriente de 24, 220, 380, 440 y 660 voltios, 50 o 60 Hz, talleres, almacenes, depósitos aduaneros, áreas de oficinas, sistemas de seguridad y todo tipo de servicios de apoyo.

Las características principales de los diques son las siguientes:

INSTALACIÓN	ESLORA x MANGA	PESO MUERTO
DIQUE 2	205 m x 26 m	25.000 DWT
DIQUE 3	335 m x 51 m	230.000 DWT
DIQUE 4	155 m x 24 m	20.000 DWT
DIQUE 5	265 m x 38 m	80.000 DWT

Los talleres de los astilleros cubren todos los requerimientos necesarios para las reparaciones de buques: acero, tubería, electricidad, electrónica, hidráulica, tratamiento de superficies, ingeniería, auxilios a la producción, etc., los cuales se complementan con las instalaciones de sus subcontratistas en las zonas industriales próximas, siguiendo una política estratégica para su selección y aprobación.



Figura 2.2 Taller criogénico en plena actividad. Fuente: NRFF

La experiencia adquirida a lo largo de los años en la propulsión de vapor en los buques de la Armada, junto con la disponibilidad dentro de las instalaciones de la Fábrica de Turbinas, han propiciado el acceso a las reparaciones de los buques de transporte de gas licuado. El continuo apoyo por parte de su dirección y el consiguiente desarrollo en este sector, de lo que son ejemplos la creación de una escuela de soldadores de membranas de los sistemas GTT³ o la adaptación de sus talleres para la reparación del material criogénico, han llevado a NRFF hasta el primer puesto mundial en reparaciones de buques LNG en los años 2009 y 2010.

Su plantilla principal está compuesta por 234 personas que, dependiendo del nivel de actividad, se ve incrementada hasta 1800 trabajadores incluyendo a las empresas subcontratistas. Posee los más altos estándares en Prevención, Medio Ambiente y Calidad y se encuentra auditada regularmente por los principales armadores a nivel mundial (*BP Shipping, Shell, Chevron, ExxonMobil, British Gas, Teekay*, etc.).

³ GTT: *Gas Transport & Technigas* es el principal tecnólogo mundial en el diseño de tanques de carga basado en membranas de contención de la carga.



Figura 2.3 Reparación en el interior de un tanque de carga de un buque de transporte de gas licuado. Fuente: NRFF

Son dignas de mención también las magníficas relaciones, tanto con los principales fabricantes de equipos marítimos a nivel mundial y de sus departamentos de servicio técnico, como también de las Sociedades de Clasificación más relevantes (*Lloyd's*, *DNV*, *B.V.*, *NKK*, etc.) que cuentan con representación local continua y con las que se encuentran reconocidos y aprobados los principales procedimientos del astillero.

LNG VESSELS	CLIENT	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
LNG Larbi Ben M'Hidi	Hyproc Shipping Company	●	●			●		●	●	●		●	●	●				●	
LNG Mourad Didouche	Hyproc Shipping Company	●	●	●														●	●
LNG Bachir Chihani	Hyproc Shipping Company		●	●		●	●		●	●	●			●		●		●	
LNG Ramdane Abane	Hyproc Shipping Company		●									●	●			●		●	
LNG Mostefa Ben Boulaid	Hyproc Shipping Company				●		●	●	●	●	●	●	●	●			●		
LNG Methane Polar	British Gas					●	●					●							
LNG Edo (Ex Lake Charles)	Anglo Eastern SM - NLNGBGT							●			●		●	●	●			●	
LNG Abuja (Ex Louisiana)	Anglo Eastern SM - NLNGBGT							●			●	●	●			●	●		●
LNG Matthew	GDF Suez							●								●			
LNG Golar Freeze	Osprey Maritime									●			●	●		●			
LNG Khannur	Osprey Maritime									●									
LNG Hassi R'mel	Hyproc Shipping Company									●		●	●	●					
LNG Norman Lady	Hoegh Fleet Services AS			●							●								
LNG Gimi	Osprey Maritime										●		●			●			
LNG Bilbao Knutsen	Knutsen OAS Shipping AS											●				●		●	
LNG Hilli	Golar Maritime UK											●							
LNG Hoegh Galleon	Hoegh Fleet Services AS											●			●	●			

Figura 2.4 Clientes: Factor de repetición. Fuente: NRFF

Cabe destacar el alto grado de profesionalidad e implicación de su personal que facilita en gran medida la fidelidad de sus clientes. En la tabla de la figura 2.4 puede apreciarse el alto índice de repetición en los últimos años.

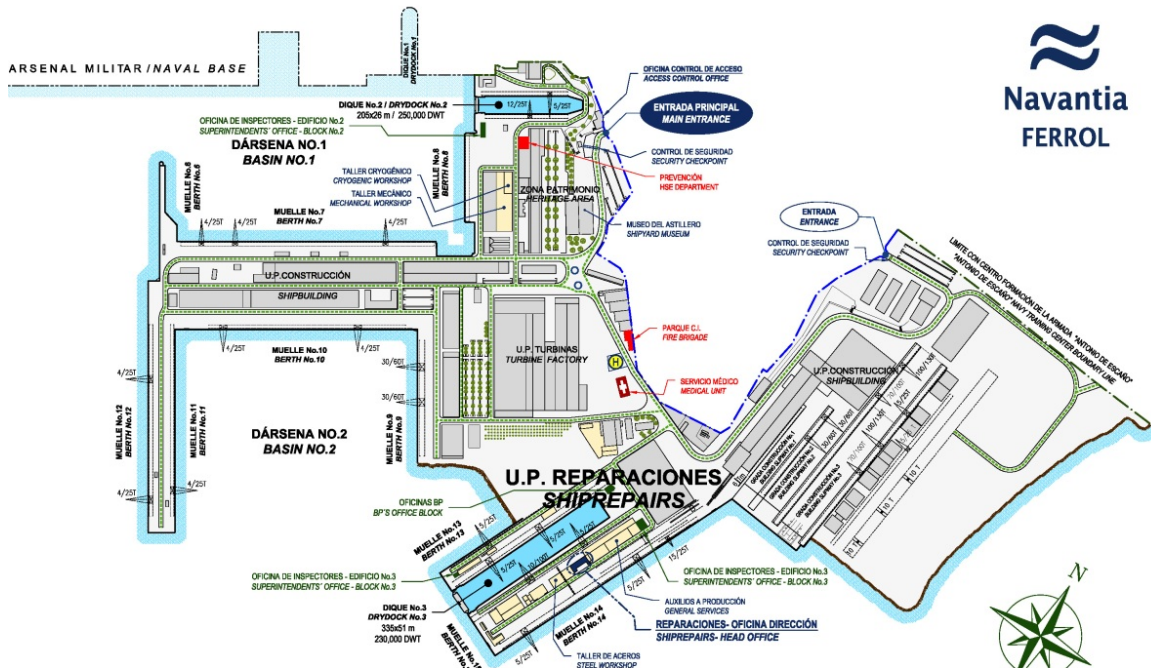


Figura 2.5 Plano general de las instalaciones de Navantia en Ferrol. Fuente: NRFF

El análisis de dicho factor durante los últimos veinte años es una prueba del compromiso de NRFF con los más altos niveles en Prevención, Calidad y Fiabilidad, comparable solamente a la orientación de toda la organización hacia la satisfacción del cliente en la búsqueda del desarrollo de una relación a largo plazo basada en la confianza mutua.

MUELLE	LONGITUD	CALADO	GRÚAS	UTILIZACIÓN
M-7	513 m.	8 m.	3 x 25 t.	Armada + F.N. + Reparaciones
M-8	175 m.	7 / 8 m.		Armada Española
M-9	264 m.	9,5 m.	2 x 60 t.	Reparaciones
M-10	481 m.	9,5 m.	2 x 25 t.	Fact. Naval + Armada
M-11	403 m.	10,5 m.	1 x 25 t.	Reparaciones
M-12	499 m.	11,5 m.	2 x 25 t.	Fact. Naval + Armada
M-13	100 m.		1 x 25 t.	Reparaciones (uso ocasional)
M-14	554 m.	9 m.	3 x 25 t.	Reparaciones
M-15	98 m.	11 m.		Reparaciones (uso ocasional)

Figura 2.6 Datos principales de los muelles del Centro de Ferrol. Fuente: Autor

Aparte de los diques mencionados, NRFF cuenta con muelles a ambos lados de la ría que son compartidos entre Factoría Naval, para el montaje y prueba de equipos a flote de los buques de nueva construcción, Reparaciones para todas aquellas obras que no requieran la utilización de los diques y la Armada Española, para la estancia segura de sus grandes unidades.

Debido a que la actividad principal de la Unidad Productiva de Factoría Naval para las nuevas construcciones se encuentra centrada en la actualidad en Ferrol y a que la Armada tiene su base en esta banda de la ría, los muelles de este centro registran una ocupación mucho mayor que los de Fene.

Por otro lado, es notable la diferencia con respecto a los calados entre ambos centros (figuras 2.6 y 2.8) por el hecho de que los muelles de Ferrol están más próximos a la bocana de la ría. De igual manera, los costes de mantenimiento en el Centro de Fene se elevan en gran medida debido a la inmediatez de la desembocadura del río Xubia, que arrastra gran cantidad de arena y lodos, limitando su operatividad.

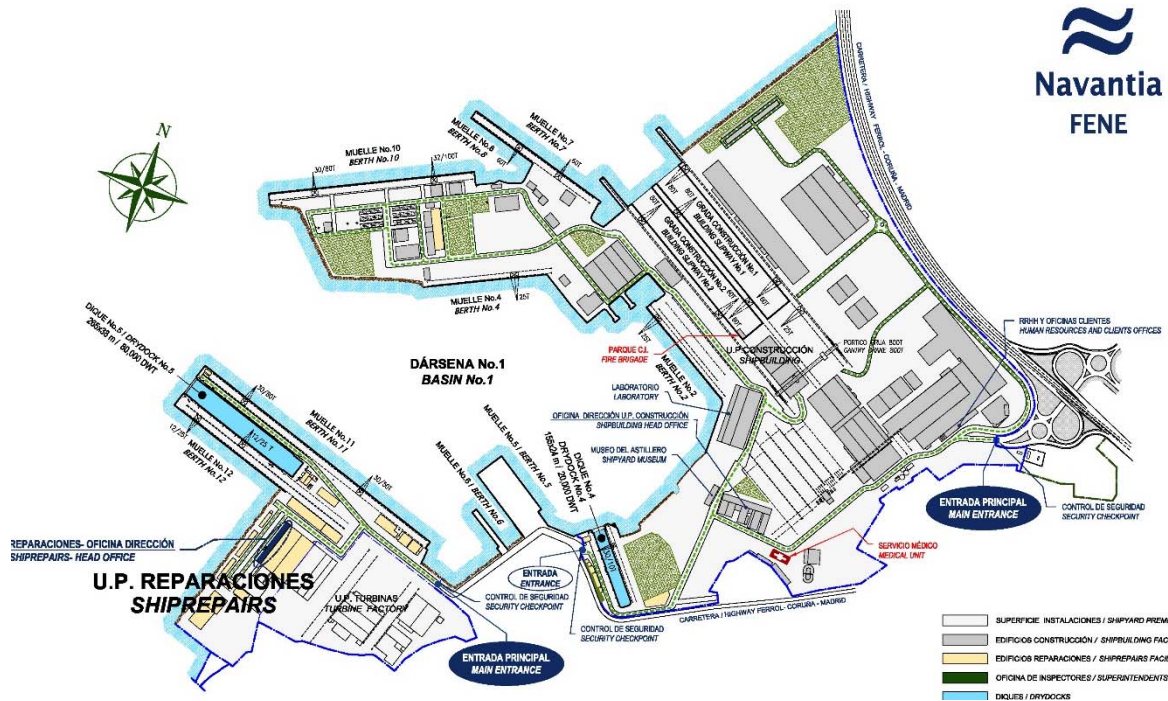


Figura 2.7 Plano general de las instalaciones de Navantia en Fene. Fuente: NRFF

La actividad de Factoría Naval en el centro de Fene se ha reducido considerablemente en los últimos años debido a la reconversión naval y en la actualidad estas instalaciones se dedican a la construcción de bloques en el interior de talleres que posteriormente se trasladan por batea a Ferrol para el montaje en grada. Por esta razón, se encuentran sin ocupación tanto los muelles 4 a 8 como las gradas de montaje propias.

MUELLE	LONGITUD	CALADO	GRÚAS	UTILIZACIÓN
M-10	400 m.	7 m.	100 + 80 t.	Fact. Naval + Reparaciones
M-11	550 m.	7 m.	80 + 50 t.	Reparaciones
M-12	255 m.	7 m.	2 x 25 t.	Reparaciones

Figura 2.8 Datos principales de los muelles del Centro de Fene. Fuente: Autor

Sin embargo, la actividad de la Unidad Productiva de Reparaciones ha recibido un impulso tras la fusión de ambos Astilleros en el año 2001, provocado por la mayor facilidad de gestión de una empresa con más recursos frente a la antigua competencia entre ellas mismas, que llevó a elevar la facturación en un 30% y consolidarla en años sucesivos.

2.3 FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UN BUQUE

Como resultado de la especialización acorde a los productos transportados, en los últimos treinta años, la flota mercante mundial ha sufrido una evolución importante reflejada especialmente en el incremento progresivo de su tamaño y diversificación. La experiencia demuestra que los sistemas tradicionales utilizados para mantener el buque atracado al muelle han dejado de ser efectivos y, consecuentemente, es necesario estudiar las fuerzas a las que está sometido para optimizar los medios de amarre.

Podemos diferenciar dos tipos de fuerzas que actúan sobre un buque amarrado: las medioambientales, debidas a fenómenos naturales tales como vientos, olas, corrientes y mareas y las operacionales, que incluyen las generadas por el paso de otros buques en las proximidades del atraque, los cambios de asiento, francobordo o calado y la tensión generada al virar los cabos con las maquinillas “*line pretension*”. La característica que distingue a ambas es que las primeras son producidas por fuerzas de la naturaleza, no controlables por la acción del hombre, mientras que las segundas resultan de procedimientos operacionales manejados por la tripulación del buque.

Viento y corriente

La magnitud de la fuerza que el viento ejerce sobre el buque depende principalmente de su velocidad, del ángulo de incidencia o ataque con respecto a la línea de crujía y del área del buque expuesta al viento “*windage*”, que es función del tipo de buque, de sus formas y de su condición de carga.

De forma similar, la corriente ejerce una fuerza que depende de las mismas variables referidas a un fluido distinto, aproximadamente 800 veces más denso (el agua) y a una zona de acción también diferente (la obra viva) a las se ha de añadir la influencia de la distancia desde la quilla al fondo (UKC)⁴. Por razones de simplicidad para el manejo de los datos, las acciones provocadas por el viento y la corriente se resumen en una fuerza resultante que, a su vez, se subdivide en sus componentes longitudinal sobre la línea de crujía y transversal, perpendicular a la misma, y un momento aplicado sobre el centro geométrico del buque.

La magnitud de las mismas se calcula utilizando fórmulas empíricas obtenidas a partir del estudio del comportamiento en túneles de viento y corriente de modelos construidos a escala de acuerdo con diferentes tipos de buques, que estudiaremos con mayor profundidad en el capítulo 5.

Olas

Mientras que el viento y la corriente producen cargas estáticas que se equilibran con las tensiones generadas en las líneas de amarre, las olas, sin embargo, generan fuerzas dinámicas alternativas cuyos efectos son función de su periodo, altura y dirección relativa con el buque que provocan continuos cambios en las tensiones de las amarras.

⁴ UKC son las iniciales de *Under Keel Clearance* (altura bajo la quilla).

Estas fuerzas pueden llegar a ser importantes cuando el periodo natural de las olas es similar al propio del sistema formado por el buque y sus amarras⁵ que responde de forma similar a un movimiento vibratorio armónico simple.

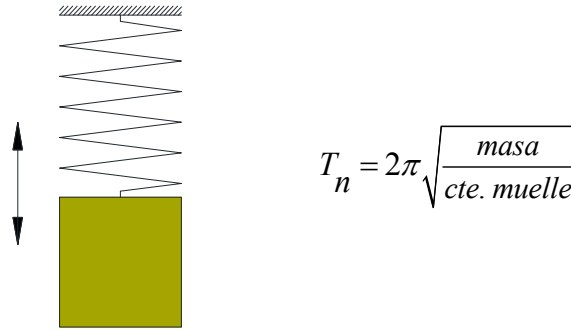


Figura 2.9 Movimiento vibratorio armónico simple. Fuente: Autor

Cuando el buque está animado de velocidad, la masa del sistema en vibración (“masa virtual”) es la suma del desplazamiento del buque (Δ), también denominada “masa real” y de la del agua que se mueve con él (M_w), o “masa añadida”.

Es resaltable el hecho de que cuanto menor sea la distancia de la quilla al fondo del muelle, el flujo de agua en torno al buque poseerá una mayor velocidad, incrementando la cantidad de agua adherida a los costados y quilla del buque, es decir, su masa añadida.

La constante de resorte es el cociente de la resistencia ejercida por las amarras (R_x) y la elongación (δx) producida en las mismas en la dirección correspondiente a cada uno de los tres grados de libertad posibles (longitudinal, transversal y vertical). Mediante la expresión (2.1) se obtiene el periodo natural relativo a la dirección longitudinal (x).

$$T_{n(x)} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta + M_w}{R_x / \delta(x)}} \quad (2.1)$$

Las olas se consideran una fuente principal de energía sobre el buque en amarres desprotegidos y expuestos a sus efectos y donde la magnitud de las mismas pueda ser considerable, tales como una *sea island*⁶, una mono-boya (*SPM*⁷) o un campo de boyas (*MBM*⁸).

También pueden originar problemas en puertos poco resguardados situados en zonas donde la plataforma continental es muy reducida, como es el caso de ciertas áreas del Océano Pacífico, a donde llegan olas de periodo muy largo generadas por borrascas profundas centradas a cientos de millas de distancia y que van aumentando en amplitud según se van acercando a la costa. Los tsunamis son un ejemplo extremo de este efecto, ya que tienen longitudes de onda de cientos de kilómetros y periodos

⁵ Estas fuerzas pueden llegar a ser críticas cuando ambos sistemas se encuentren en resonancia, al coincidir tanto en periodo como en fase.

⁶ Una estructura a modo de muelle o pantalán que no tiene una conexión directa con la costa. Este atraque puede tener lugar en uno o en ambos lados de la estructura.

⁷ *Single Point Mooring*.

⁸ *Multi Buoy Mooring*.

de varios minutos y van creciendo en amplitud desde su origen (terremotos), con alturas de ola de un metro hasta llegar a la costa donde pueden sobrepasar los diez metros.

Sin embargo, en buques de eslora mayor de doscientos metros, el efecto de las olas en puertos bien abrigados, como es el caso de la Ría de Ferrol, puede despreciarse tanto en sentido longitudinal como vertical ya que sus periodos naturales duplican o triplican el correspondiente al de las olas generadas por el viento, que se mueven en un rango de 7 a 12 segundos, con lo que absorberán ellas mismas la mayor parte de la energía transportada.

Por el contrario, ha de tenerse en cuenta el grado de libertad transversal (balance), correspondiente al menor periodo natural, ya que un tren de olas perpendicular al buque provocará subidas y bajadas continuas con respecto al muelle que solamente pueden ser absorbidas por la elasticidad de las amarras.

Interacciones por el paso de otros buques en las proximidades del atraque

La energía del sistema de olas generado por un buque en movimiento (E_o) es una función directamente proporcional a su desplazamiento (Δ) y a la relación entre el calado del buque y la profundidad del agua en la zona de paso (d/D), dependiendo también de sus formas, representadas por el coeficiente de bloque (C_b) y, sobre todo, de su velocidad (V^2).

$$E_o = \Delta \cdot C_b \cdot \frac{d}{D} \cdot V^2 \quad (2.2)$$

El sistema de olas originado puede interaccionar con otro buque amarrado en las proximidades de la ruta de paso provocando efectos similares a los estudiados en el caso anterior, que serán de mayor magnitud cuando se den las siguientes circunstancias:

1. Tiene poco agua bajo la quilla (UKC)
2. La separación entre ambos buques es relativamente pequeña
3. El tamaño del buque amarrado es considerablemente menor
4. El buque que pasa navega a una velocidad relativamente alta
5. Los cabos de amarre pueden haber perdido su tensión inicial aplicada con las maquinillas “*line pretension*” debido a que hayan quedado en banda como consecuencia de las variaciones de la altura de la marea.

El efecto de las olas aplicado a la navegación en el interior de la Ría de Ferrol, donde la ruta de paso está alejada de los atraques y se emplean velocidades bajas de maniobra puede ser sólo relevante a nivel de pequeñas embarcaciones.

Marea

Las fuerzas debidas a la subida y bajada del nivel de agua como consecuencia de las mareas (no se incluye el efecto de la corriente de marea que se analizará con profundidad en el capítulo 5)⁹ son previsibles, puesto que se trata de un fenómeno bien comprendido en la mayoría de las zonas de amarre. Además, las variaciones de tensión sobre las amarras no se producen en respuesta al incremento o disminución de fuerzas externas, sino en respuesta a la variación en la elevación de un buque con relación al muelle de atraque. En este sentido, las fuerzas causadas por la subida y bajada de la marea pueden controlarse lascando o cobrando los cabos lo que pidan, motivo por el que en estos casos se necesita una adecuada vigilancia de la tensión de los cabos “*line tending*” para adaptarse a la situación de la marea en cada momento.

Operaciones de carga y descarga

Las fuerzas que se crean en los cabos debido a las operaciones de carga y descarga son similares a las que se generan por los cambios de elevación debido a las mareas ya que ambas provocan una variación en la altura de la cubierta del buque con relación al muelle. En consecuencia, al igual que en el caso de las mareas, una adecuada vigilancia de la tensión de los cabos “*line tending*” por la tripulación puede minimizar o eliminar de modo efectivo estas fuerzas.

Cuando el buque se encuentra en reparación, estas operaciones se limitan al deslastrado previo a la entrada en dique y al lastrado antes de su salida a la mar, sin que por ello se deban descuidar, ya que las grandes tensiones generadas por la falta de atención a los cabos pueden provocar la rotura de elementos de amarre, especialmente cuando se suman a la acción de la marea, como veremos en la sección 6.2.1.

2.4 PRINCIPIOS DE AMARRE

Se entiende por amarre la conjunción de elementos (maquinillas, cabos, guías, defensas, norayes, bitas, etc.) que permiten que el buque se mantenga sujeto al muelle y pueda realizar sus operaciones de carga o descarga en condiciones seguras ante la presencia de las fuerzas exteriores que acabamos de citar.

La efectividad de un sistema de amarre está determinada no sólo por la resistencia de cada uno de sus componentes, sino también por su adecuada disposición, limitando el movimiento del buque tanto longitudinal como transversalmente, de forma que todos ellos contribuyan homogéneamente a la resistencia total. Cuanto menor sea el número de cabos necesario, más sencillo y seguro será el sistema. Sin embargo, desde el punto de vista operativo, debe limitarse su diámetro por cuestiones de manejabilidad¹⁰, lo que complica el reparto de cargas.

⁹ Aquí resulta necesario precisar estos conceptos de un modo separado. Así, el término mareas “*tides*” lo empleamos para referirnos al movimiento vertical de agua causado por los efectos gravitacionales del sol y la luna; la corriente “*current*” (a secas), para referirnos al movimiento horizontal de agua; el término corriente de marea “*tidal current*” cuando nos referimos al movimiento horizontal de agua originado por el movimiento vertical de las mareas y finalmente empleamos el término corriente oceánica “*ocean currents*” para referirnos a las corrientes de los océanos.

¹⁰ La experiencia demuestra que es recomendable no sobrepasar los 44 milímetros de diámetro en el caso de amarras de acero y 80 milímetros para los cabos sintéticos.

Idealmente, los cabos de amarre deberían de estar orientados hacia la misma dirección de las fuerzas que intentan desplazar el barco de su posición, constituyendo, de esta forma, un sistema denominado *uni-direccional*. Sin embargo, esta disposición no siempre puede llevarse a la práctica, en primer lugar, porque dichas fuerzas pueden que no actúen siempre de igual forma y, en segundo lugar, porque es necesario acomodar el buque a las condiciones particulares del muelle, teniendo en cuenta la posición de sus medios fijos de amarre. Las amarras, siguiendo una disposición para la restricción de fuerzas *multi-direccional*, pueden clasificarse, en función de su orientación, en:

- **Largos:** Trabajan tanto en sentido longitudinal como transversal, alejándose del buque y se denominan de proa o de popa en función de la zona de donde procedan
- **Esprines:** Contribuyen fundamentalmente a la resistencia longitudinal y trabajan hacia la cabeza contraria de aquella por la que salen, dirigiéndose hacia el centro del buque. En las maniobras de los buques de gran tamaño, son las primeras amarras que se dan a tierra para facilitar su posicionamiento.
- **Traveses:** Limitan el desplazamiento transversal del buque con respecto al muelle y pueden ser también de proa o popa dependiendo de su procedencia. Su contribución a la resistencia total aumenta con el alejamiento de cuaderna la maestra.
- **Coderas:** Trabajan de forma similar a los traveses, pero en sentido contrario a éstos, contra un muerto situado en el costado opuesto al de atraque.

La efectividad de las amarras está determinada por dos ángulos; el vertical formado con el plano del muelle, y el horizontal con respecto a la línea de crujía del buque. El primero de ellos, que es función de la altura entre la guía del buque de la que sale y el plano del muelle, así como de la distancia al noray donde se encapilla, ha de ser el mínimo posible en todo momento. La guía de la *OCIMF*¹¹ recomienda no sobrepasar el valor de 25° (OCIMF, 2008, p.16).

El ángulo horizontal idóneo depende del tipo de amarra, correspondiendo 90° para los traveses y 0° o 180° para esprines.

Los largos de proa y popa generalmente no son eficientes para restringir el movimiento del buque. Muelles con norayes dispuestos para hacer firme el buque con esprines y traveses permiten que permanezca atracado de un modo más efectivo dentro de su propia eslora. El empleo de los largos de proa y popa requiere la utilización de dos norayes adicionales y disminuye la eficiencia de la distribución del amarre cuando el número de cabos disponibles es limitado. Deben de emplearse solamente cuando resulten necesarios por razones de la maniobra o cuando se necesitan debido a la geometría local del muelle, para restringir sus movimientos longitudinales o siguiendo la orientación de la dirección de

¹¹ *Oil Companies International Marine Forum* es una asociación de compañías petrolíferas que edita guías de referencia para mejorar la seguridad y prevenir la contaminación marina en las operaciones de carga, transporte y descarga de productos derivados del petróleo.

fuerzas meteorológicas previstas. Obviamente, los buques pequeños atracados en muelles diseñados para unidades de mayores dimensiones pueden necesitar dar largos de proa y popa debido a la propia geometría del muelle.

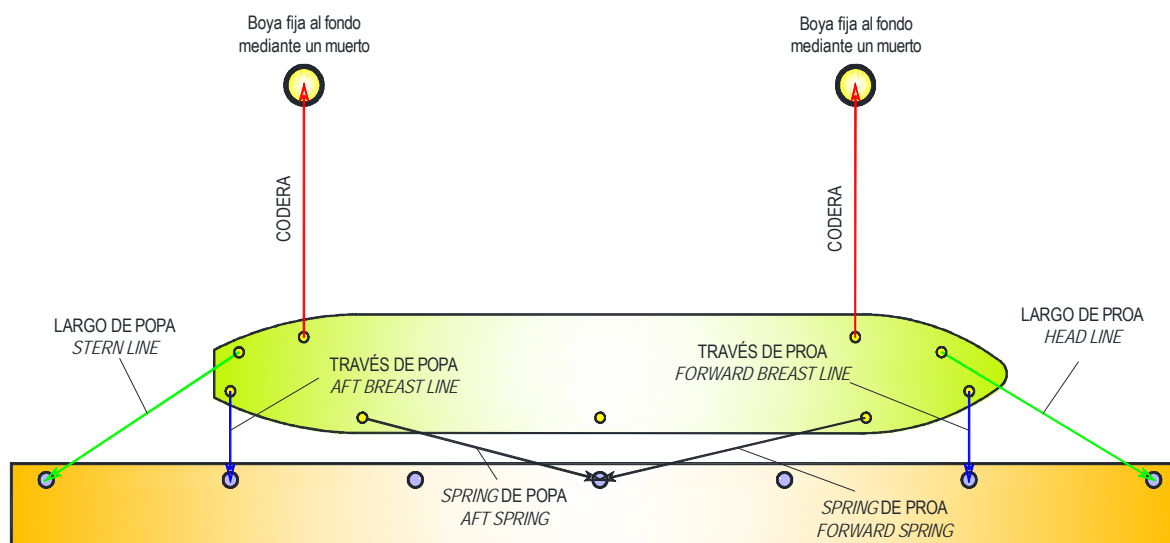


Figura 2.10 Tipos de amarras en función de su disposición. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Aunque en términos generales es deseable que la disposición de amarre del buque mantenga una cierta simetría con respecto a su cuaderna maestra, ésta puede variarse con el fin de mejorar la resistencia del sistema ante condiciones adversas cuya orientación es previsible.

La guía *OCIMF* establece criterios ambientales estándar que permiten calcular las fuerzas a las que se verá sometido el buque y, en consecuencia, determinar el número y características de los elementos de amarre necesarios. El conocimiento de las condiciones meteorológicas particulares de la zona de atraque permitirá la disposición más efectiva de los medios de amarre y la modificación de dichos criterios en caso necesario¹².

Tomando como punto de partida dichas premisas, el sistema de amarre debe de estar diseñado para soportar aproximadamente el doble de su carga prevista. Este coeficiente de seguridad es variable en función del material del que están fabricados los cabos, teniendo en cuenta su degradación media con el paso del tiempo¹³.

Otro factor importante que contribuye a la resistencia del amarre es la elasticidad de las amarras, que depende tanto del material de construcción como de su diámetro y longitud. Un sistema muy elástico favorece la absorción de cargas dinámicas mayores y el reparto de esfuerzos, pero puede ocasionar el desplazamiento del buque. El efecto contrario lo produce un sistema muy rígido que mantendrá el buque en posición pero a la vez permitirá que unas amarras reciban más carga que otras, comprometiendo la

¹² Los criterios ambientales aplicables al puerto de Ferrol será definidos en el capítulo 4 (“*Estudio de las condiciones meteorológicas*”).

¹³ La tensión recibida por las amarras de acero no debiera de sobrepasar el 55% de su carga mínima de rotura, aplicándose el 50% para las sintéticas y 45% en el caso de cabos de poliamida.

resistencia del conjunto. Por esta razón, es muy frecuente el montaje de calabrotes sintéticos en el extremo de los cabos fabricados con materiales de alta rigidez, de extrema importancia para contrarrestar los esfuerzos dinámicos provocados por las olas.

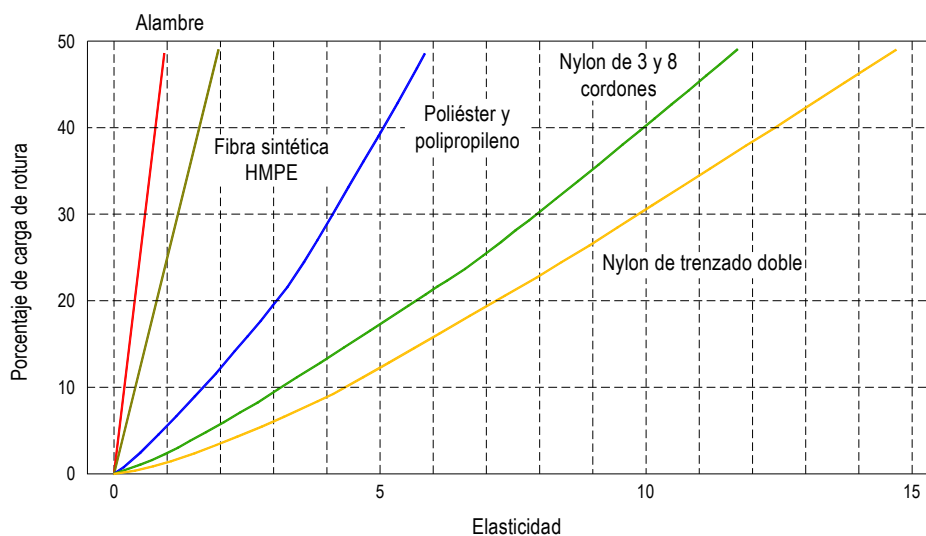


Figura 2.11 Elasticidad de las amarras en función del material de fabricación. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

De todo lo dicho, se deduce que las líneas de amarre dispuestas en una misma dirección han de estar fabricadas con materiales de elasticidad similar y tendrán longitudes y diámetros parecidos con el fin de evitar el sobreesfuerzo de aquellas más cortas o rígidas.

Es frecuente la utilización de cabos de mayor elasticidad¹⁴ que se dan a tierra en primer lugar (*“first lines ashore”*) con el fin de facilitar el posicionamiento del buque en su maniobra de atraque. Ha de tenerse en cuenta que dichos cabos no pueden ser incluidos en la evaluación total del amarre cuando el resto hayan sido contruidos de un material sensiblemente más rígido ya que su contribución sería prácticamente nula.

2.5 CABOS

Una decisión importante que debe de tomarse en el estadio del diseño del buque es si los cabos de amarre van a ser de alambre o de fibra sintética. El tipo de cabo empleado tendrá influencia en aspectos tales como el tamaño del tambor de la maquinilla, los tipos de guías, los radios de curvatura de las mismas por las que va a laborear el cabo y el espacio requerido en cubierta.

Si bien el empleo de cabos de alambre supone una ventaja allí donde es preciso un movimiento limitado del buque, tal como en muelles con unos brazos de carga con fuertes estructuras y donde no se esperan grandes cargas dinámicas; en general, los cabos de fibra sintética parecen más adecuados para buques de pequeño tamaño, donde su facilidad de manejo, su mayor flexibilidad y una tensión más pequeña

¹⁴ Para buques de gran tamaño suele ser usual emplear uno a proa y otro a popa de 80 mm de diámetro y 370 m de longitud cada uno.

sobre los cabos, son criterios importantes. Otros factores que a menudo pueden influir en la elección del material incluyen el coste y el tipo de cabo empleado dentro de un tráfico marítimo en particular.

2.5.1 CABOS DE ALAMBRE

Un cable metálico no es más que un conjunto de alambres retorcidos y agrupados helicoidalmente, constituyendo un cabo metálico, apto para resistir los esfuerzos de extensión. Sus elementos más simples y fundamentales son los alambres y las almas, con los cuales se construyen unidades estructurales más complejas, llamadas cordones; y con estos, los cabos, que yuxtapuestos o bien cableados en torno a un alma, integran las estructuras definitivas de los cables, en su manifestación más complicada. Los elementos que componen un cable son los siguientes:

- **Las ALMAS (“core”).** Son los núcleos que, en las estructuras de los cables, sirven de soporte al trenzado de sus alambres y cordones. Suelen estar integradas a veces, por un alambre o un cable de acero, diciéndose entonces que el alma es metálica. Cuando se emplean pequeños cabos de fibra sintética (antiguamente también de fibras naturales como cáñamo, abacá o sisal), se dice que el alma es textil.
- **Los CORDONES (“strands”).** Son las estructuras más simples que podemos construir con alambres y almas. Se forman trenzando, en una o varias capas superpuestas, los alambres apoyándolos sobre un alma, como en las figuras 2.12 y 2.13, o bien sin alma, como puede verse en la figura 2.14.
- **Los CABOS DE ALAMBRE (“wire ropes”).** Se componen de varios cordones agrupados en torno a un alma secundaria, que después se emplean para formar otras superestructuras.

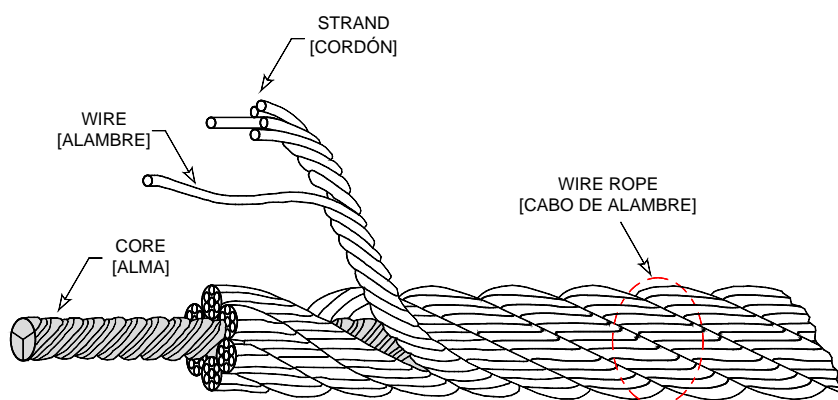


Figura 2.12 Elementos que componen un cable. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Con los alambres, las almas, los cordones y los cabos se construyen todos los tipos de cables que se emplean en la práctica. Los alambres y las almas no están colocados en la misma forma dentro de los cables, sino que, de unos a otros cambia la disposición, forma y tamaño de los alambres, así como el trenzado y cualidades del material, lo cual origina una variedad de tipos de cables que conviene conocer para emplearlos adecuadamente.

La estructura transversal de los cordones generalmente está relacionada con el sistema de trenzado longitudinal de sus alambres, correspondiendo a los cordones que tienen todos sus alambres iguales el sistema de trenzado llamado de ángulos iguales; y a los cordones con alambres diferentes, el trenzado denominado de pasos iguales.

Existe una dependencia entre la disposición y tamaño de los alambres en el cordón y la forma de cableado que aquéllos adoptan longitudinalmente.

Los cordones se clasifican en:

Cordones de alambres de igual diámetro. Son los denominados cordones normales y se caracterizan por tener todos sus alambres forma circular, igual diámetro y llevar cada capa seis alambres más que la precedente.

Cordones de alambres de diferente diámetro. En este grupo de cordones, existen tres tipos de estructuras bien definidas, llamadas “*Seale*”, “*Warrington*” y “*Filler-Wire*”. Estas estructuras pueden combinarse entre sí y producir, por ejemplo, cordones del tipo “*Warrington-Seale*”.

La estructura *Seale* puede definirse como la disposición en la que todas las capas de alambre, o al menos las dos últimas, llevan el mismo número de hilos, por cuyo motivo son de diferente diámetro.

La estructura *Warrington* se caracteriza por tener la capa exterior formada con alambres de dos diámetros distintos, alternando su colocación dentro de la corona, lo que determina un perímetro muy redondo en los cordones.

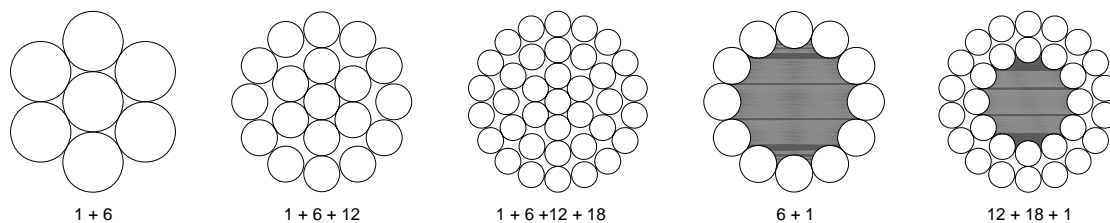


Figura 2.13 Cordones de alambres de igual diámetro. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

La estructura *Filler-Wire* se distingue por llevar entre dos capas de alambres, otros hilos más finos para rellenar los huecos existentes entre las mismas. Se construye este tipo de cordón cuando la utilización del cable exige una mayor sección metálica y más capacidad de resistencia al aplastamiento.

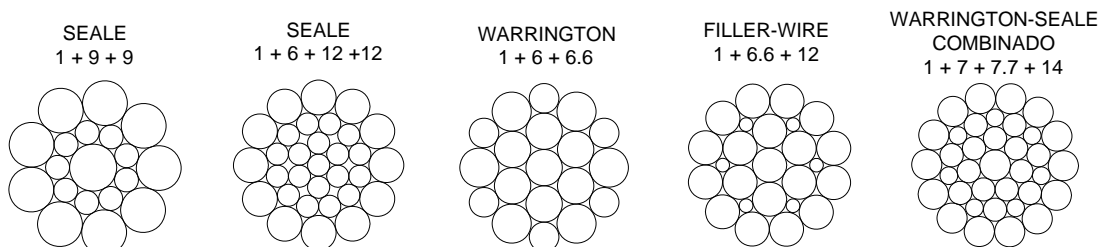


Figura 2.14 Cordones de alambres de diferente diámetro. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Atendiendo a su grado de complejidad, las estructuras de los cables pueden clasificarse en tres grupos importantes:

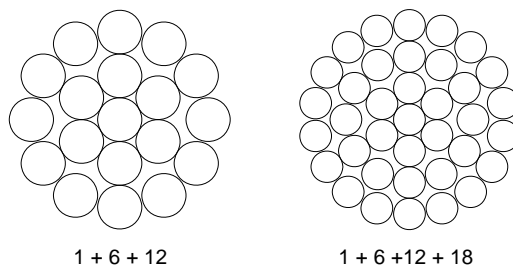


Figura 2.15 Cables formados por un solo cordón. Fuente: Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

- *Cables formados por un solo cordón (cables monocordes)*. Estos cables suelen estar formados por un cordón de tipo corriente, enteramente metálico, y cuyo número de alambres suele ser a veces muy elevado. Estas estructuras reciben el nombre de espiroidales, y cuando se desea obtener de ellas una gran resistencia a la abrasión se construyen de manera que los alambres de la capa exterior sean de mayor diámetro que los del interior del cable.
- *Cables formados por varios cordones (cables de cordones)*. Son los más empleados en la práctica y pueden tener la estructura formada por una o varias capas de cordones que se envuelven en torno a un alma textil o metálica. Estos cables se trenzan alrededor de un alma y lo hacen en la misma forma que los alambres al formar el cordón. La flexibilidad de estas estructuras es mucho mayor que la de los cables monocordes, que son las más rígidas. El número de sus cordones suele oscilar entre 3 y 8, pero en general la estructura más empleada en los cables de cordones de una sola capa es la de 6, porque este número conduce a un cable bastante redondo y con una superficie de apoyo suficientemente amplia para las presiones. Si el número de cordones se reduce, el cable presentará entonces aristas, tanto más salientes cuanto menor sea el número de aquéllos, y en estas aristas se concentrarán los desgastes del cable, destruyéndolo rápidamente. Por el contrario, si se adopta un número mayor que 6, el cable será más redondo y más flexible, pero el espacio central ocupado por el alma textil resultará desproporcionado y el cable tendrá propensión a deformarse por aplastamiento. Por estas razones, las estructuras de 6 cordones son las más empleadas en la construcción de los cables, y solamente cuando las circunstancias lo imponen se recurre a la estructura de 8, aunque generalmente utilizando un alma mixta o metálica.

Los cables representados en las figuras 2.12 a 2.15 contienen almas textiles que, en el caso de que las condiciones del servicio así lo requieran, pueden sustituirse por almas metálicas. Existen estructuras de cables en las que, aparte del alma central, los cordones también tienen su alma textil, obteniéndose cables muy flexibles.

- *Cables formados por varios cables (cables de cabos)*. Para definir exactamente un cable, no basta conocer tan solo su estructura transversal; es preciso, además, notar cuál es el sistema de torcido longitudinal de sus alambres y cordones, que puede seguir la dirección de las agujas del reloj (torsión derecha) o contraria a las mismas (torsión izquierda).

Combinando los sentidos de torsión de los alambres en los cordones y el de los cordones en el cable se producen dos tipos fundamentales de torsiones con dos variantes en cada uno:

- *Torsión cruzada*: La torsión es cruzada cuando el sentido del cordoneado de los alambres es contrario al sentido de cableado de los cordones, llamándose torsión cruzada derecha cuando los cordones se cablean hacia la derecha, y torsión cruzada izquierda cuando los cordones se cablean a la izquierda. Este tipo de torsión se llama también torsión normal a la derecha o a la izquierda.
- *Torsión de sentido único o Lang*: También llamada de sentido único, es aquella en la cual los alambres en el cordón y los cordones en el cable se tuercen en la misma dirección. Será torsión *Lang* derecha si los cordones se tuercen a la derecha, e izquierda si se tuercen aquellos a la izquierda.

El torcido cruzado es el que se emplea con más frecuencia, porque tiene la ventaja de una menor tendencia a destorcerse; sin embargo, en muchos casos es preferible emplear el torcido *Lang*, por ser éste más flexible y dar a la estructura longitudinal del cable mayor superficie de apoyo cuando este se asienta sobre las gargantas de las poleas, haciéndolo más resistente a la abrasión que el torcido cruzado. Las estructuras transversales de los cordones están íntimamente relacionadas con la forma de torcerse longitudinalmente sus alambres. Así, al cordonear los alambres podemos hacerlo de dos maneras: Torciéndolos todos con ángulos de cordoneado iguales, pero pasos diferentes entre los alambres de las distintas capas, aunque proporcionales a los diámetros de las capas que ellos integran. Este sistema se llama *corriente o normal* y produce transversalmente las estructuras del mismo nombre y en el cual los alambres se tuercen con un ángulo de cableado igual, obteniéndose un cordón prieto y homogéneo; pero los hilos de las capas contiguas se cruzan con ángulos más o menos agudos y se producen contactos puntuales, en los que el cable sufre fuertes presiones que entallan los alambres predisponiéndolos a su rotura.

Torciéndolos con ángulos de cordoneado diferentes de una capa a otra, pero con pasos iguales en todas ellas. Este sistema se denomina de *cordoneado paralelo o de pasos iguales*, que generalmente corresponde a estructuras de tipo *Seale*, *Warrington* y *Filler*, cuyos alambres en las distintas capas de los cordones tienen el mismo paso. Con este sistema, dado que los alambres no se cruzan sino que los de una capa se asientan paralelamente sobre los de la capa anterior, el contacto entre ellos es lineal y la presión se reparte sobre una mayor superficie, aminorándose el peligro de entalladura en los alambres¹⁵.

¹⁵ Esta propiedad de cordoneado paralelo o de pasos iguales se utiliza también en las estructuras formadas por la combinación de las de tipo *Warrington* y *Filler*, obteniéndose estructuras mixtas que soportan muy bien los esfuerzos producidos por los choques y fuertes presiones.

La preformación es un nuevo procedimiento de fabricación en la técnica del cable consistente en que los alambres y cordones reciben antes de ser cableados la forma helicoidal que adoptarán más tarde cuando el cable esté totalmente terminado. No le hace diferente a simple vista, pero elimina tensiones internas, determinando una mayor resistencia a la fatiga de enrollamiento, reduciendo la tendencia a girar sobre sí mismos y prolongando notablemente la vida del cable.

Una vez examinada la estructura de los cables, pasamos a analizar las solicitudes más importantes que surgen en los cables durante su operación y que aquéllas estructuras han de contrarrestar. Analizaremos cada solicitud¹⁶ por separado, pero al elegir las estructuras de los cables hay que tenerlas todas presentes en su conjunto, con el fin de obtener la más adecuada a las diversas, y a veces contradictorias, exigencias que impone el servicio, resultando imprescindible en ocasiones tomar una decisión de compromiso entre ellas. Consideramos las siguientes solicitudes que son las más importantes a fin de especificar la estructura de cable que más eficazmente las contrarreste:

- **Encurvación:** Los cables al pasar por las poleas y enrollarse en los tambores sufren una fatiga por flexión, tanto más importante cuanto más rígido es el cable. Son adecuadas para este esfuerzo las estructuras de alambres numerosos, con almas textiles, con los cordones de cableado *Lang*, preformados y compuestos con alambres de acero de baja resistencia específica.
- **Aplastamiento:** Se produce la fatiga por aplastamiento en los cables cuando estos se apoyan en las gargantas de las poleas y ranuras de los tambores o se estiban en capas sucesivas sobre un mismo tambor, alterándose las posiciones relativas de los alambres y cordones. Poseen mayor resistencia contra el aplastamiento las estructuras que integran alambres gruesos, con alma metálica y siguiendo las configuraciones *Seale*, *Warrington* ó *Filler-Wire*.
- **Estrepada:** En ocasiones el cable sufre fuertes tensiones instantáneas y repentinas que producen latigazos y choques bruscos del mismo contra objetos fijos o móviles, como rodillos, guías, etc. dando lugar a la deformación de su primitiva construcción circular y como consecuencia, el cable se deteriora prematuramente. Los mejores resultados se obtienen con las estructuras tipo *Seale* o *Filler-Wire* y alma central metálica.
- **Abrasión:** El desgaste es función de la superficie de apoyo del cable y de la presión específica sobre ella. Por esta razón, para contrarrestar la abrasión de los cables, se eligen estructuras que tengan la máxima superficie de apoyo a igualdad de diámetro, recomendándose en este caso el cableado *Lang* porque este trenzado da mayor superficie de apoyo que el cruzado. En los cables donde la abrasión es la causa preponderante de su destrucción debemos elegir estructuras con cordones de alambres gruesos, teniendo en cuenta que estaremos limitados por las condiciones de flexibilidad impuestas por la instalación; de modo que la flexibilidad nos exige alambres de mínimo diámetro y la abrasión alambres de diámetro máximo.

¹⁶ Acción de solicitar. Solicitar en el sentido que se emplea aquí es atraer una o más fuerzas a un cuerpo, cada cual en su sentido.

- **Corrosión:** Un engrasado periódico evita en parte la oxidación; pero hay casos en los que la corrosión es muy activa y entonces, para defender los cables, hay que recurrir a recubrimientos protectores, constituidos generalmente por zinc. La corrosión disminuye la sección metálica de los cables y al extenderse aquélla, se produce un deterioro de los alambres, con lo cual se reduce la resistencia, la capacidad contra la abrasión, la elasticidad y la flexibilidad de los cables. El galvanizado de los alambres proporciona a estos ciertamente una mayor resistencia a la corrosión, pero aminora las características mecánicas del material, haciéndole perder el 10% de su resistencia y el 15% de su flexibilidad. En instalaciones fijas o en servicios de funcionamiento poco frecuente, los cables galvanizados resultan mejores que los cables sin galvanizar, pero si el trabajo del cable es continuo, la acción abrasiva destruye la capa protectora de zinc y se pierde la ventaja de tal protección.
- **Tendencia al giro y resistencia al calor:** Los cables, bajo la acción de una carga, giran sobre sus propios ejes. Esta rotación se debe al enrollamiento en hélice de los alambres y de los cordones, y el sentido de este giro es opuesto al sentido de enrollamiento del cable. Un cable de enrollamiento a la derecha, por ejemplo, tiende a girar a la izquierda, y si el enrollamiento del cable fuera a la izquierda, la tendencia del giro sería a la derecha. Para contrarrestar esta tendencia a girar de los cables al someterlos a la acción de una carga, se han ideado las estructuras llamadas anti-giratorias, las cuales están formadas por la agrupación de varias capas de cordones sobre un alma central textil.

En estas composiciones las capas de cordones se cablean en sentidos contrarios, por cuya causa los momentos de giro se contrarrestan total o parcialmente. Estos cables son de un manejo muy delicado, y para obtener un buen rendimiento con ellos, es necesario que se sigan con rigurosidad las recomendaciones del fabricante.

Para identificar la estructura de un cable, se emplea en la práctica muy a menudo una notación¹⁷ que está constituida por tres cifras, separadas por el signo \times las dos primeras y por el signo $+$ la última. La primera cifra designa el número de cordones del cable; la segunda el número de alambres de los cordones, y la tercera el número de almas del cable (por ejemplo: $6 \times 19 + 1$).

Pero esta notación no es muy precisa, ya que no permite saber cómo están ordenados los alambres y cordones dentro de la estructura del cable. En efecto, nos dice que el cable tiene 6 cordones, cada uno de 19 alambres, y un alma textil, pero no como estos elementos se organizan dentro de la estructura; siendo ésta una fórmula abreviada que va bien cuando todos los hilos son de igual diámetro, que puede precisarse mejor añadiendo al segundo número un paréntesis que contenga la disposición de los alambres dentro del cordón expresando el número de alambres desde el núcleo a la periferia [por ejemplo: $6 \times 37 (1 + 6 + 12 + 18) + 1$, notación que significa que el cable en cuestión es de 6 cordones de 37 alambres ordenados en capas sucesivas, partiendo de un núcleo que lo forma un solo alambre, sobre el que se

¹⁷ Sistema de signos convencionales que se adopta para expresar ciertos conceptos, en este caso la estructura de los cables.

trenzan 6, y sobre estos 12 y sobre los 12, 18 más y finalmente el último número nos señala que el cable tiene un alma textil].

Cuando el cable es de cordones tipo *Seale*, *Warrington* o *Filler-Wire*, suele precisarse aún más la fórmula añadiendo al paréntesis que designa la composición del cordón las palabras *Seale*, *Warrington* o *Filler-Wire* o las iniciales de estas palabras. Así por ejemplo:

- $[6 \times 25 (1 + 6.6 + 12) \textit{Filler} + 1]$ o $[6 \times 25 (1 + 6.6 + 12) F + 1]$
- $[6 \times 19 (1 + 9 + 9) \textit{Seale} + 1]$ o $[6 \times 19 (1 + 9 + 9) S + 1]$

Si el cable carece de almas textiles “*fibre core*”, es decir, si las almas son metálicas, entonces la última cifra que representa a estas se designa por el guarismo cero “0”, donde el cero significa un alma metálica de igual textura que la de los cordones exteriores del cable. Por ejemplo:

- $[7 \times 19 (1 + 9 + 9) S + 0]$

Cuando el alma metálica “*steel core*”, en lugar de ser de igual textura que la de los cordones exteriores del cable, es un cordón más pequeño, no se pone el cero al final de la fórmula, sino la composición del mismo. Por ejemplo:

- $6 \times 25 (1 + 6.6 + 12) F + [6 \times 7 (1 + 6) + 1]$

La construcción recomendada para el amarre de buques es 6 x 36 (para cabos de alambre de diámetro comprendido entre 22 y 40 milímetros) o 6 x 41 (para cabos de alambre cuyo diámetro supere los 40 milímetros) con alambres en cada cordón de torsión en sentido único o torsión (“*Lang of equal lay*”) y los cordones de torsión cruzada a la derecha (“*regular or ordinary right hand lay*”). Estos cabos pueden suministrarse en diferentes grados de acero, generalmente 145 kg/mm² o 180 kg/mm², siendo estos últimos los más recomendables al reducir su diámetro y, por consiguiente, facilitar su manejo ante las mismas especificaciones de carga.

Aun cuando es bien conocido que el manejo de los cabos de acero es más dificultoso que el correspondiente a los fabricados en fibras sintéticas, éstos han constituido hasta la actualidad¹⁸ la elección preferida por los armadores de buques de gran tamaño debido a las razones siguientes:

1. **Baja elasticidad** que permite el cumplimiento de los requerimientos de las terminales al mantener la posición del buque con respecto al brazo de carga¹⁹ aun cuando varíen las fuerzas exteriores. El alargamiento que se produce en un cabo de alambre cuando se le somete a cargas

¹⁸ A partir de la década de los 90 del pasado siglo, los cabos de fibra sintética de última generación *High Modulus Polyethylene (HMPE)* han ido sustituyendo de forma generalizada a los cabos de acero, a medida que los fabricantes de aquéllas han ido mejorando su resistencia a la abrasión; una de las pocas desventajas con relación a los cabos de acero.

¹⁹ El movimiento del buque generalmente permitido es de ± 3 m de movimiento longitudinal “*surge*” y 3 m de movimiento lateral “*sway*”.

entre un 20 y un 65% de su carga mínima de rotura²⁰ es de aproximadamente un 1% (figura 2.11).

2. **Alta resistencia a la abrasión:** Esta es una cualidad de gran importancia en los cabos de amarre debido a su interacción frecuente con otros elementos de mayor dureza como son las guías, la propia cubierta del buque o el arrastre por los muelles. Algunas fibras sintéticas poseen un alargamiento similar a los cables de acero pero son extremadamente sensibles al roce, dejándolas en clara desventaja con respecto a éstos en este aspecto.
3. **Economía ventajosa,** derivada no sólo del coste inicial, sensiblemente inferior, sino también de su mayor duración media ante un manejo poco cuidadoso.

Los cabos de alambre deben de diseñarse de tal forma que no se hallen sometidos con carácter general a una tensión que sobrepase el 55% de su *MBL*. Resulta aconsejable este nivel para proporcionar un resguardo de seguridad derivado de la reducción en su dureza debido a los radios de curvatura sobre los que tiene que laborear y a pequeñas degradaciones del cabo y también para asegurar cargas por debajo del límite de estiramiento elástico del alambre (aprox. un 65% de su *MBL*).

Los cabos de amarre deben de tener una longitud mínima de 275 m para permitir un atraque a un campo de boyas así como a muelles y *sea islands*.

2.5.2 CABOS SINTÉTICOS

Las fibras naturales, en la actualidad, casi han desaparecido en su empleo a bordo, dando paso a las sintéticas (cuya materia prima es el petróleo) caracterizadas tanto por su capacidad para soportar mayores cargas unitarias como por su resistencia superior a los elementos ambientales, como el sol y la humedad.

Los cabos fabricados de sisal, cáñamo, esparto o algodón han quedado relegados a su uso en botes de pesca o de recreo debido a su menor precio. Al igual que en el caso de los alambres, los cabos de fibra poseen estructuras diferentes:

▪ Cabos colchados o torcidos

Los cabos de cordones se fabrican usando hebras naturales o filamentos sintéticos que se trenzan formando filásticas (“*yarns*”). Las filásticas se retuercen y constituyen los cordones (“*strands*”), que, a su vez también se retuercen para formar el cabo. Los cordones pueden estar colchados bien a derechas, o en Z (figura 2.16), o bien a izquierdas, o S. En el caso de cabos formados al derecho, el primer grupo de fibras se retuerce a la derecha dando lugar a una filástica derecha. Dos o más filásticas, dependiendo del tamaño, constituyen un cordón torciéndose a izquierdas, y los cordones se retuercen entre sí hacia la derecha para formar un cabo colchado al derecho o en Z.

²⁰ En adelante *MBL* “*Minimum Breaking Load*” o “*Carga Mínima de Rotura*” que es la carga mínima de rotura de un cabo de amarre declarada por el fabricante para un cabo nuevo.

Este tipo de cabo es menos flexible y más apto para trabajos duros ya que tiene una excelente resistencia al desgaste, aunque el tipo mostrado en la figura 2.16, constituido por tres cordones, se utiliza solamente en pequeños diámetros para tareas auxiliares debido a su tendencia a deformarse o hacer cocas tras ser tensionado. Las amarras de los buques pueden estar formadas con cabos colchados, en un número mínimo de cuatro cordones trenzados sobre un alma central.

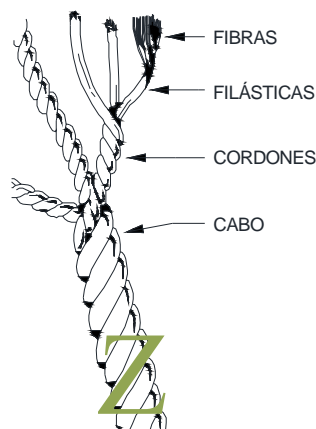


Figura 2.16 Cabo en Z y sus componentes. Fuente: Autor

▪ Trenzado múltiple

Consta de cuatro (o seis) pares de cordones. Dos (o tres) pares se colchan en Z y los otros dos (o tres) pares se trenzan en S. Los cordones se trenzan juntos mediante torsión para formar un cabo como el mostrado en la figura 2.17.

También denominado cuadrado (“square braid” o “plaited”), el trenzado múltiple se utiliza con más frecuencia para la confección de amarras. El equilibrio obtenido entre el trenzado a derechas e izquierdas conforma un cabo muy flexible, de manejo sencillo y prácticamente indeformable.

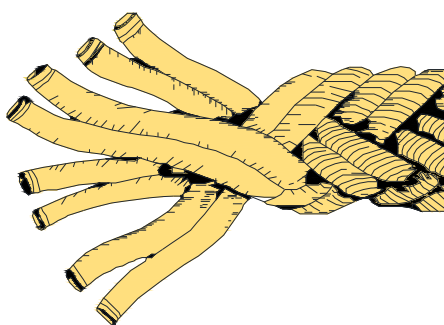


Figura 2.17 Cabo de cuatro pares de cordones. Fuente: Autor

▪ Cabos de funda y alma trenzada

Pueden formarse de distintos modos empleando hebras o filamentos de diferentes materiales. En el centro del cabo se haya el alma, que puede ser única, colchada, trenzada o formada por cordones paralelos (figura 2.18). La mena así constituida, está recubierta con una funda, por lo general formada

de ocho o dieciséis partes tejidas del mismo material o diferente del alma, componiendo una estructura mucho más ligera en relación con la resistencia obtenida.

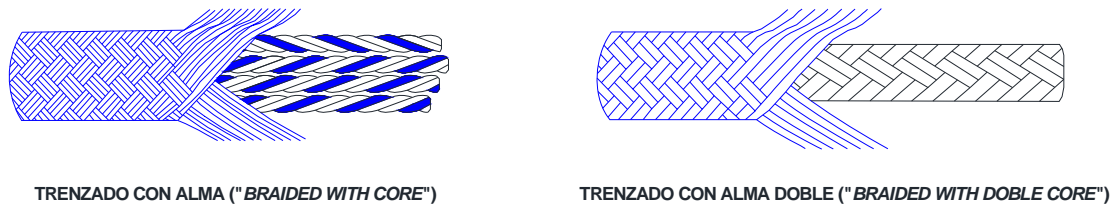


Figura 2.18 Cabos con funda. Fuente: Autor

La funda exterior o camisa, en el caso de alma doble, constituye un componente estructural del cabo y la resistencia ha de repartirse con ésta de manera que ninguna de ellas sobrepase el 55% del esfuerzo total. Sin embargo, cuando el alma está formada por cordones paralelos, la camisa sirve solamente de protección del conjunto. Este tipo de cabo es de uso común en amarras y conexión con la monoboya.

La elasticidad, tanto en el caso de los cabos de alambre como en los sintéticos, es un factor que disminuye con la utilización del mismo, de manera que las amarras adquieren un estiramiento residual cuando se someten a esfuerzos sucesivos, reduciendo su alargamiento previo a la rotura, aunque no afecta de manera sensible al valor de su *MBL*.

Es importante también citar que el *MBL* de una amarra está referido a las pruebas realizadas sobre un cabo nuevo y en tiro recto, es decir, sin considerar su paso a través de una guía o rodillo sobre el que ha de girar, provocando una deformación que disminuye su resistencia. Los fabricantes hacen siempre referencia a un radio de curvatura mínimo que es función de la estructura de fabricación del cabo y, muy especialmente, de los materiales utilizados para su construcción.

Los cabos sintéticos son más fáciles de manejar que los alambres pero, como contrapartida, requieren un uso más cuidadoso debido a su baja resistencia a la abrasión, obligando a utilizar guías sin mordeduras, evitar su arrastre sobre la cubierta, abozar con cabos de poliéster y evitar la acumulación de polvo sobre ellas. Su almacenamiento ha de realizarse dentro de locales limpios y secos, libres de productos químicos y protegidos de la acción de los rayos ultravioleta del sol.

Los materiales sintéticos utilizados en la actualidad en la fabricación de cabos son el poliéster, nylon, polipropileno, fibras de aramida y fibras sintéticas *HMPE*. En las siguientes líneas se describirán las características fundamentales de cada uno de ellos.

Poliéster

Aunque es la más duradera de las fibras sintéticas convencionales y posee una alta resistencia, tanto en seco como en húmedo, el poliéster tiene el inconveniente de que es más pesado que el agua y, por tanto, no flota.

Tiene buenas propiedades contra la abrasión externa y no pierde resistencia rápidamente debido a cargas cíclicas de trabajo²¹. Aunque para una misma capacidad de carga los cabos de poliéster son más caros (aproximadamente 3 veces más que el polipropileno y aproximadamente 1,2 veces más que el *nylon*), la inversión inicial se amortiza con una mayor vida útil.

La elasticidad del poliéster cuando se le somete a la mitad de su *MBL* es aproximadamente del 9%, mucho mayor que el alambre que, sometido a igual carga de rotura, su elasticidad es del 1%.

El bajo coeficiente de fricción del poliéster le permite deslizarse fácilmente alrededor de las bitas y, como posee un punto de fusión relativamente alto (230°C en comparación con el polipropileno que es de 165°), se reducen las probabilidades de fusión.

Cuando la resistencia y la duración son los factores predominantes y cuando no resulta necesaria una alta elasticidad, el poliéster resulta el preferido para todo tipo de cabos de fibra sintética convencionales ya sea de poca o mucha mena.

Nylon

El nylon es la denominación de las fibras sintéticas poliamidas (nombre químico del nylon). Es más pesado que el agua y por tanto no flota.

Un cabo de este material cuando está seco, es ligeramente más resistente que el poliéster. Sin embargo, la humedad reduce su resistencia llevándole aproximadamente al mismo nivel que éste.

Sometido a cargas cíclicas, el *nylon* húmedo pierde resistencia más rápido que el poliéster cuando se trata de cabos de igual mena²²; por tanto, un cabo de *nylon* muy usado será más débil que uno de poliéster en las mismas condiciones.

El nylon es el cabo de fibra sintética que tiene una mayor elasticidad. Cuando se tensiona al 50% de su *MBL*, su elasticidad es del 12% o mayor (figura 2.11). Esta característica lo hace especialmente adecuado para su empleo en los calabrotes donde la elasticidad resulta necesaria en casos tales como aligeramientos en la mar (*STS*)²³; sin embargo, resulta menos apropiado para aquellas operaciones donde se precisa un amarre más firme.

Polipropileno

Este tipo de fibra sintética tiene aproximadamente la misma elasticidad que el poliéster, pero es significativamente menos resistente que el poliéster o el nylon. Tiene un punto de fusión bajo y tiende a fundirse cuando está sometido a una alta fricción (por ejemplo una estacha sometida a fuertes y continuos rozamientos contra las guías).

²¹ Pruebas recientes llevadas a cabo por el *OCIMF* han confirmado que el poliéster dura 150 veces más que el *nylon* (en castellano “*nailon*”) y 570 veces más que el polipropileno cuando se les somete a cargas cíclicas.

²² Su resistencia cuando está húmedo es aproximadamente del 80 al 85% la que tiene cuando está seco.

²³ *Ship to Ship Transfer Operations*, consistente en el transbordo de crudo u otros productos derivados del petróleo entre dos buques dedicados a transportar dichas cargas y realizados amarrándose por el costado ya sea estando fondeados o en navegación.

Pierde resistencia debilitándose rápidamente cuando se le somete a cargas cíclicas y su exposición prolongada a los rayos ultravioleta del sol puede causar la desintegración de las fibras de polipropileno por degradación debida al actinismo (acción química de las radiaciones electromagnéticas, en especial las luminosas).

El polipropileno es más ligero que el agua (es la fibra sintética más ligera) y por tanto flota, empleándose mucho para *sisgas* o mensajeros de mayor mena cuyo empleo puede resultar necesario en algunas maniobras en situaciones en las que no se les somete a tensión; sin embargo no se recomienda su empleo para cabos de amarre del buque por los motivos expuestos.

Polietileno

El polietileno flota en el agua y es de apariencia similar al polipropileno, pero generalmente más débil y menos resistente a la abrasión, teniendo aproximadamente la misma elasticidad. Por estos motivos su empleo a bordo debe de quedar reducido, al igual que en el caso del polipropileno, a *sisgas* o mensajeros y aún con más restricciones que en el caso del polipropileno.

Fibras de Aramida (*Kevlar*) y fibras sintéticas *HMPE*

En los últimos años han aparecido en el mercado nuevos materiales sintéticos para el amarre de los buques tales como las fibras de *Aramida* [con nombres comerciales tales como *Kevlar* (*Du pont*), *Twaron* (*Azko Nobel*), y *Technora*] y los denominados *High Modulus PolyEthylene*²⁴ (*HMPE*) bajo nombres comerciales tales como *Dyneema*, *Spectra* o *Steelite* que ofrecen una alta resistencia, poco peso, baja elasticidad, flexibilidad y resistencia a la erosión. A igualdad de peso, estas fibras son aproximadamente 5 veces tan resistentes como los cables de acero, mientras que su elasticidad es solamente del 3% al 5%.

A pesar de su mayor coste, su empleo como un sustituto de los cabos de alambre y de otras fibras sintéticas ya se ha establecido y las fibras de *Aramida* y las de *HMPE* ya constituyen una verdadera alternativa a los cabos de alambre en el mundo marítimo.

Con relación a este tipo de fibras, los principales beneficios se encuentran en la reducción del diámetro y por tanto del peso requerido. Esta reducción resulta ventajosa para los tambores de las maquinillas que pueden ser de menores dimensiones en tanto que su reducción comparativa en peso, hace que su manejo resulte mucho más sencillo.

Las principales desventajas a tomar en consideración con relación a las fibras sintéticas, además de su elevado coste, son, de una parte, que debido a su baja elasticidad relativa, poseen restricciones con relación a su capacidad para trabajar en zonas con un ángulo muy agudo ("*bend radius*") y, de otra, que en la mayoría de los casos existe una necesidad de recubrir las fibras para protegerlas de los rayos

²⁴ Es una forma especial del *Polietileno convencional*. Bajo esta denominación también incluimos a las fibras *Ultra High Modulus PolyEthylene -UHMPE*.

ultravioleta y el roce mecánico. El daño de la cobertura exterior protectora puede dar lugar a una rápida degradación de los cordones acortando su período de vida útil.

Las principales diferencias entre las fibras de *Aramida* y las *HMPE* son las siguientes²⁵:

- Los cabos de *Aramida* no flotan, mientras que los de *HMPE* sí²⁶;
- A igualdad de peso, las fibras *HMPE* son más resistentes;
- La resistencia a la abrasión superficial e interna de las fibras *HMPE* es excelente mientras que las de *Aramida* aunque es buena, resulta menor que aquéllas;
- El coeficiente de fricción de las fibras *HMPE* es muy bajo;
- Las fibras *HMPE* tienen un punto de fusión de 150° C y las de *Aramida* de 425° C;
- La resistencia a los rayos ultravioleta del sol es excelente en el caso de las fibras *HMPE* y bastante buena en el caso de las de *Aramida*;
- Las fibras *HMPE* tienen una mejor capacidad de absorción de fuertes cargas repentinas (en el argot de mundo marítimo, *estrechonzos*) que las de *Aramida*;
- La resistencia de las fibras tanto de *Aramida* como de *HMPE* es un 5% menor cuando están húmedas.

2.4.3 CALABROTES

Con el fin de proporcionar una elasticidad adicional cuando se utilizan cabos de fibra sintética *HMPE* o de alambre, algunos buques de gran tonelaje están equipados en el extremo que va al muelle con un calabrote (“*tail or pennant*”) de fibra sintética convencional. Esta elasticidad adicional reduce las cargas dinámicas inducidas en los cabos de alambre permitiendo al buque responder de un modo más efectivo a los diferentes efectos combinados del viento, olas y corriente, así como al de los buques que pasen en sus proximidades a baja velocidad. Estos calabrotes también tienden a distribuir las cargas de un modo más igualado entre los cabos de amarre correspondientes al mismo servicio. Finalmente, la elongación del sistema de amarre que proporciona el calabrote, sirve para reducir el riesgo potencial derivado de una vigilancia inadecuada de los cabos de amarre, en especial en muelles con grandes amplitudes de la marea. Sin embargo, si el calabrote es demasiado elástico, el movimiento del buque puede exceder del máximo tolerable por la instalación de carga/descarga del muelle.

Cualquier material que tenga una elasticidad de moderada a alta es adecuado para la fabricación de calabrotes. Los materiales más comunes incluyen poliéster, mezclas de poliéster y polipropileno o poliamidas (nylon).

²⁵ Esta información está extraída de la publicación: *Fibre Rope Technical Information and Application Manual*. The Cordage Institute Technical Information Service. Second edition, January 1997. Cordage Institute, Hingham, USA.

²⁶ Sin embargo, hay que tener en cuenta que cuando estos cabos van recubiertos con una camisa de protección para mejorar su resistencia a la abrasión, pueden flotar o no dependiendo del material de dicha camisa (OCIMF and SIGTTO, 2014, p. 9).

Para incrementar el ciclo de vida útil por fatiga y resistencia se recomienda que tanto el cabo principal como el calabrote estén acordonados en igual sentido y con el sistema de trenzado de ángulos iguales. De este modo, cuando el cabo esté bajo tensión, la tendencia al giro sobre sí mismo mostrará un efecto casi despreciable.

Debido a las cargas cíclicas a las que se ve sometido el cabo en su conjunto, los calabrotes están sujetos a un alto grado de fatiga dando como resultado una reducción de su resistencia con el uso. Pruebas llevadas a cabo para analizar fallos, han revelado que los calabrotes pueden experimentar una reducción sustancial en la resistencia a la rotura y en un período de tiempo relativamente breve, resultando necesaria una vigilancia constante de su estado²⁷.

Los calabrotes de fibra sintética deben de poseer una *MBL* al menos un 25% superior a la del cabo al que van unidos. Los de poliamida (nylon) deben de tener una *MBL* un 37% superior al objeto de tener en cuenta la pérdida de resistencia cuando están húmedos.

Algunos buques especialmente contruidos para llevar a cabo maniobras de aligeramiento (“*lightering*”) están equipados con una disposición del cabo específica de tal modo que el calabrote de una longitud determinada se hace que no laboree por las guías sino que trabaje por fuera de las mismas para lo cual se une un cabo de alambre al extremo más próximo al buque para que sea este el que laboree por las guías, impidiendo de este modo un desgaste rápido del calabrote.

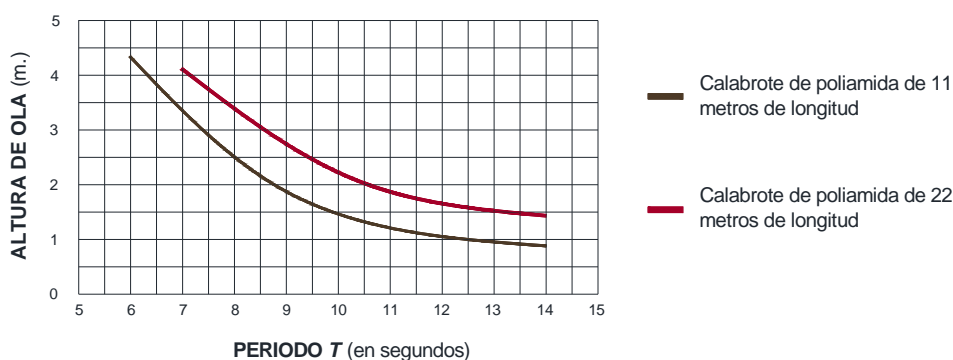


Figura 2.19 Curvas de límite de altura de ola para un buque gasero de 138000 metros cúbicos de carga con amarras de HMPE y calabrotes de poliamida, trabajando al 50% de su *MBL*. Condiciones atmosféricas: 35 nudos de viento, soplando a 315° de la línea de crujía, 5 nudos de corriente de dirección 350° y 45° de escora. Fuente: OCIMF, 2008, p. 132

Como se indicaba en la sección 2.2 cuando estudiábamos el efecto de las olas, el periodo de oscilación del sistema compuesto por el buque y sus amarras, aumenta con la elasticidad de éstas, lo cual es beneficioso desde el punto de vista de su alejamiento del periodo propio de las olas y, por lo tanto, de los efectos dañinos de la resonancia entre ambos movimientos. De esta forma, cuanto más elásticos sean los calabrotes, más protegerán al buque, aunque se habrá de buscar un equilibrio entre elasticidad y movimiento máximo.

²⁷ OCIMF recomienda su sustitución cuando la resistencia residual se acerque al 60% de su *MBL*. Como criterio general, se habrán de reemplazar una vez transcurridos 18 meses desde su montaje (OCIMF, 2008, p.134).

La elasticidad del calabrote, una vez conocida la resistencia requerida, es función de los materiales empleados en su fabricación y de su longitud. Es habitual el uso de calabrotes de once metros y la experiencia ha demostrado su eficacia en puertos abrigados donde las olas no son un factor importante. Sin embargo, esta longitud, especialmente en las amarras de través, puede resultar inadecuada para su uso en puertos expuestos a mar abierto o con amplitudes de marea muy elevadas, en cuyo caso es necesario utilizar calabrotes de 22 metros, considerados como estándar en terminales poco abrigados. En la figura 2.19 podemos apreciar el efecto de este incremento para una altura determinada de ola, incrementando en una media de dos segundos el periodo del sistema cuando se utilizan calabrotes más largos.

Es importante resaltar que los cabos que trabajen en la misma dirección (bien de través o en sentido longitudinal) han de tener coeficientes de elasticidad similares y, por lo tanto, longitudes de calabrote de igual magnitud, de forma que se favorezca el reparto equilibrado de fuerzas. La figura 2.20 muestra una imagen de las amarras de través de proa del buque LNG *GOLAR SPIRIT*, situado en el muelle 14 de Ferrol, una vez renovados todos sus calabrotes de 11 metros de longitud, 96 milímetros de diámetro y fabricados de una mezcla de poliéster y polipropileno²⁸ bajo una estructura de trenzado múltiple de cuatro pares de cordones.



Figura 2.20 Imagen de las amarras de través de proa del buque LNG *GOLAR SPIRIT* en el muelle 14 de Ferrol. Fuente: Autor

La conexión del cabo principal de **alambre de acero** a su calabrote requiere la protección de sus gazas y ha de realizarse siempre de acuerdo a las instrucciones del fabricante. En la actualidad puede hacerse siguiendo uno de los cuatro métodos descritos a continuación:

- Utilizando un grillete tipo *Tonsberg*, en cuyo caso el calabrote trabajará sobre el bulón desmontable.

²⁸ Denominado comercialmente *Karat Maxi Plus*, comercializado por *ScanRope Marine* cuyo catálogo se encuentra disponible en el Anexo 2.1.

- Con el uso de un grillete tipo *Mandel*, que incorpora un rodillo para recibir a la amarra principal, tal y como detalla la figura 2.21.
- Unión soldada por medio de resinas especiales del chicote del alambre con un terminal que incorpora un rodillo, de forma similar al grillete *Mandel*. El inconveniente de este sistema es que impide la inversión de los extremos del cabo principal para prolongar su ciclo de vida.
- Unir ambas gazas por el seno de una de ellas (“*cow hitch*”). Este tipo de conexión reduce la resistencia en un 15% aproximadamente y no es recomendable cuando se utilicen fibras de Aramida en el cabo principal debido al daño resultante de la compresión del mismo o cuando éste sea de alambre.

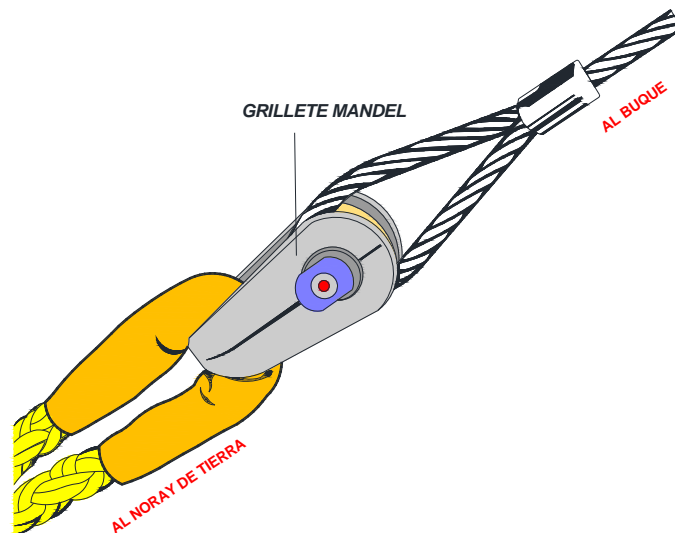


Figura 2.21 Calabrote de fibra sintética conectado a un cabo de alambre por medio de un grillete Mandel. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Cuando el cabo principal sea de fibra sintética de última generación HMPE, la conexión calabrote-cabo de fibra HMPE no se realiza mediante un grillete especial como hemos visto en el caso anterior del cabo de alambre de acero, sino mediante el nudo denominado ligada de vaquero o de acollador (“*cow hitch*” o “*lanyard hitch*”).

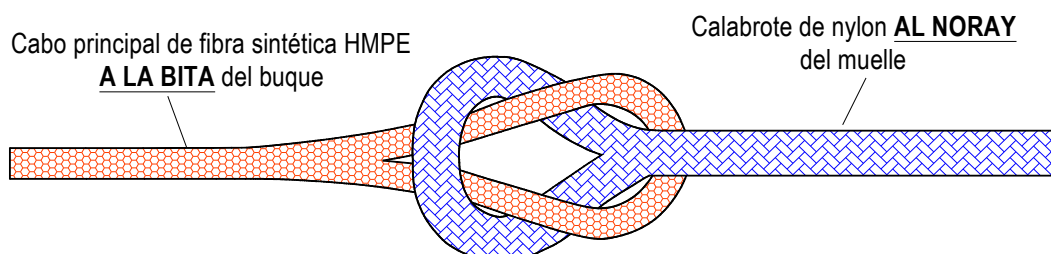


Figura 2.22 Calabrote de fibra sintética conectado a un cabo de fibra sintética HMPE mediante una ligada de vaquero o de acollador. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

2.6 MAQUINILLAS DE AMARRE

Las maquinillas de amarre llevan a cabo una multitud de funciones. Así, sirven para amarrar el buque haciendo firme a bordo el chicote de los cabos, permite ajustar su longitud para adaptarlos a las características del sistema de amarre en cada muelle y realizar los ajustes necesarios en la longitud de los cabos derivados de los cambios de calado y de la altura de la marea. Sirven también para estibar el cabo de amarre en el tambor cuando no se está usando y para virar de los mismos al objeto de mantener al buque en posición, en respuesta a las fuerzas medioambientales o de inercia. También actúan como un dispositivo de seguridad que libera la carga almacenada en un cabo lascando de una manera controlada una vez que la fuerza sobre el mismo se incrementa por encima del porcentaje que se haya establecido de su *MBL*.

Las maquinillas pueden dividirse por su tipo de control (automática o manual), por el tipo de fuente de energía (vapor, hidráulica o eléctrica), por el número de tambores asociados con cada eje de la maquinilla (tambor único, doble o triple), por el tipo de tambor (dividido y no dividido) y por el tipo de freno y modo de su aplicación (ferodo, disco, tornillo mecánico o muelle).

El corazón del sistema de amarre está constituido por la maquinilla de amarre montada sobre cubierta para virar y lascar los cabos, los tambores sobre los que van estibados y sus frenos. Un manejo adecuado de estos componentes resulta esencial para la seguridad del buque amarrado. Con el fin de que el sistema de amarre opere debidamente, se debe de instalar un número adecuado de maquinillas (“*winches*”), así como un número suficiente de tambores (“*drums*”) donde estibar los cabos de amarre y para proporcionar la capacidad de almacenamiento de carga designada, se deben de diseñar, operar y mantener los frenos de la maquinilla (“*winch brakes*”).

Los cabos de amarre están permanentemente estibados y se dan para el amarre desde los tambores de las maquinillas (ya sea desde un tambor único “*undivided drum*” o desde un tambor dividido “*split drum*”).

La potencia de las maquinillas puede venir suministrada por dos máquinas alternativas de vapor de dos cilindros²⁹, aunque también pueden ser movidas eléctrica o hidráulicamente.

La capacidad de virado de una maquinilla con una sola capa del cabo en su tambor, no debe de exceder del 33% del *MBL* del cabo de amarre. Por ejemplo, para *VLCC's* si se trata de un cabo de alambre de 42 mm de \varnothing , su capacidad debe de estar en torno a 38 tons.

La velocidad de virado recomendable sin carga en la primera capa del tambor es de 1,5 m/s; sin embargo, es esencial que esta velocidad no sea nunca inferior a 0,5 m/s. A máxima carga, la velocidad deseable es de 0,5 m/s y en ningún caso inferior a 0,12 m/s.

²⁹ Se emplean dos cilindros que mueven un cigüeñal con sus muñequillas desfasadas 90° entre sí con el fin de asegurar que su potencia está disponible en todas las condiciones de carga y posiciones del eje.

Es recomendable también que los motores de las maquinillas tengan una relación largado/virado (“*to render or pay out / to heave*”) suficientemente baja como para impedir que lasquen cuando se produzca una condición de sobrecarga en el cabo de amarre.

Atendiendo a su tipo de control, existen dos tipos de maquinillas a bordo de los buques:

De tensión automática

Designadas para mantener una tensión constante determinada en cuyo caso, la maquinilla lascará siempre que la tensión exceda del valor preestablecido y virará siempre que la tensión del cabo disminuya por debajo del valor fijado.

Si se ha instalado una maquinilla de tensión automática, sus frenos deben de disponerse en manual mientras el buque está amarrado de tal modo que no se hace uso del dispositivo de tensión automática. La principal razón es que los esprines de proa y popa y los largos de proa y popa pueden trabajar en direcciones opuestas cuando el buque se encuentra en condiciones de viento y corriente. Esto hace que disminuya su efectividad a la hora de contrarrestar estas fuerzas y puede traer como resultado que el buque se mueva a lo largo del muelle de atraque lo cual puede dar lugar a que se exceda el límite de operación.

En la práctica, el empleo de las maquinillas de tensión automática no es recomendable excepto para los cabos que trabajen perpendicularmente a la línea de crujía (los traveses). Como quiera que debido a que en el atraque éstos no trabajan siempre perpendicularmente a la línea de crujía como sería de desear y pudieran también dar lugar al desplazamiento longitudinal del buque, la mayoría de las terminales no permiten el empleo de la capacidad de funcionamiento automático de las maquinillas en caso de que exista, debiendo de ponerlas en manual.

Manuales

Las maquinillas operadas manualmente, requieren que la tripulación vire (“*haul-in*”) o lasque (“*slack*”) los cabos de amarre y el dispositivo del freno se aplica mecánica o hidráulicamente con un par de fuerza (“*torque*”) establecido para asegurar su capacidad de diseño de tensión almacenada (“*holding capacity*”).

Los tambores de las maquinillas de amarre: dividido y no dividido

Ninguno de estos dos tipos cumple todos los requerimientos satisfactoriamente de modo completo. Así, mientras muchos armadores y operadores de *VLCC*'s prefieren el tambor dividido, hay otros que optan por el no dividido. A continuación, se describen las ventajas y desventajas de cada uno y los efectos que tiene el número de capas del cabo de amarre en el tambor de tensión o de trabajo.

Los tambores no divididos

Este tipo de tambores se encuentra comúnmente en buques de pequeñas dimensiones e incluso es el tipo preferido por algunos operadores de *VLCC*'s, con el fin de evitar la necesidad de transferir el cabo de

alambre de una sección a otra del tambor tal como resulta necesario en el tambor dividido cuando se ha hecho una estimación errónea en las necesidades de largado del cabo antes de comenzar a virarlo.

Sin embargo si se selecciona este tipo de tambor, el operador debe de ser consciente de que a menudo resulta difícil enrollar y estibar adecuadamente el cabo en torno al mismo; algo imprescindible ya que, en caso contrario, puede dañarse el cable cuando se aplica tensión al sistema. Para aminorar este problema, debe de estudiarse cuidadosamente a nivel de diseño la ubicación de la maquinilla, dejando suficiente espacio desde la guía para asegurarse que el alambre puede enrollarse adecuadamente.

Los tambores divididos

El tambor dividido de una maquinilla es un tambor común al que se ha añadido una plancha perpendicular en forma circular o pestaña que divide el mismo en una sección de estiba y en una sección de tensión, y va dotado de una muesca que permite el paso del cabo de alambre de una sección a otra. La maquinilla opera con una sola capa del cabo de alambre en la sección de tensión del tambor y permite mantener un brazo de palanca constante, fundamental para el correcto funcionamiento del freno.

Este tipo de maquinilla de tambor dividido fue diseñado con el fin de solucionar los problemas de estiba de los cabos de alambre en los tambores que presentaban los tambores no divididos ya que cuando el cabo se maneja directamente desde un tambor, las últimas capas exteriores del cabo de alambre cuando se someten a tensión tienden a “hundirse” o adentrarse en las capas interiores, lo que puede producir como resultado daños al cabo y dificultades a la hora de su largado, al mismo tiempo que los dispositivos mecánicos de largado son susceptibles de averiarse.



Figura 2.23 Imagen de una maquinilla de popa babor del buque LNG BERGE ARZEW mostrando en detalle la división de sus carretes. Fuente: Autor

En operación, a medida que se recoge el cabo previamente encapillado en el noray de tierra, se va enrollando directamente en la sección de estiba hasta que queda solamente con seno suficiente para proporcionar un número de vueltas necesario en la sección de tensión como para: a) mantener la tensión del cabo de alambre solamente en la sección de tensión del tambor y; b) proporcionar unas vueltas extra

para permitir los ajustes necesarios en la longitud del cabo dado a tierra a lo largo de la operación de carga o descarga del buque; en cuyo momento, el cabo se pasa de la sección de estiba a la sección de tensión.



Figura 2.24 Foto de dos tambores divididos con un cabo de fibra sintética HMPE donde se aprecian las secciones de estiba y de tensión de cada uno. Fuente: Autor

Resulta difícil de juzgar cuando se debe de llevar a cabo la transferencia en el tambor desde su sección de estiba a su sección de tensión, especialmente cuando se emplean grandes longitudes de cabo antes de comenzar a virar, tal como en la maniobra de amarre a boyas “MBM”. Se debe de tener especial cuidado en el manejo de este tipo de tambor para impedir que durante la transferencia de una a otra sección a través de la muesca o ranura el cabo esté en tensión, ya que en caso contrario se puede dañar el cabo (de alambre o de fibra sintética HMPE) o dar lugar a un accidente de la tripulación que maneja la maquinilla. Otra precaución relativa a las operaciones de amarre es que éstas pueden prolongarse mucho en el tiempo, en especial si se acumulan un número de capas excesivas en la sección de tensión del tambor ya que, en este caso, deben de llevarse a cabo los pasos necesarios antes de dar por finalizado el amarre para corregir el número de vueltas en dicha sección (hay que traspasar las capas que resulten excesivas a la sección de estiba del mismo).

Los frenos de las maquinillas

Existen evidencias de que un cabo en servicio durante unos pocos años experimentará una reducción en su carga de rotura debido tanto a las cargas cíclicas, abrasión, etc., derivadas de un uso normal, como de aquellas otras mermas adicionales por haber cogido vueltas y/o curvas al laborear por las guías.

Dichas razones llevan a establecer el ajuste de la capacidad de almacenamiento de carga del freno al 60% de la *MBL* del cabo nuevo (*OCIMF*, 2008, p. 153) con el fin protegerlo de su rotura, incluyendo un adecuado margen de seguridad³⁰.

Los frenos de las maquinillas, por su parte, deben de diseñarse de tal modo que sean capaces de almacenar una carga mínima equivalente al 80% de la *MBL* del cabo por dos motivos bien diferenciados:

1. Con el fin de prever su deterioro con el paso del tiempo (formación de óxido en los tambores de los frenos, desgastes anormales debidos a excentricidades, etc.), tal y como establece la norma ISO Standard 3730 para un cabo nuevo cuando solamente está presente una capa en el tambor (tal como ocurre en la sección de tensión de un tambor dividido). En este supuesto, la *OCIMF* recomienda que los frenos de las maquinillas se ajusten al 60% del *MBL* del cabo³¹.
2. En el caso de maquinillas con tambores no divididos, es necesario disponer de una reserva de su capacidad de frenado por el hecho de que ésta se verá reducida en función del número de capas que permanezcan en su interior. Puesto que la capacidad de almacenamiento del freno en estos tambores decrece a medida que se incrementa el número de capas, es normal que el freno, en estos tipos de maquinillas, se ajuste en la primera capa del tambor al 80% del *MBL* del cabo teniendo en cuenta que será probable que cuando el cabo entre en tensión, existan en torno a tres capas sobre el tambor lo que significará que el freno permita lascar el cabo cuando la tensión del mismo esté en torno al 60% de su *MBL*³².

Una vez que tengamos una maquinilla en manual (no de tensión automática o si lo es, con esta opción deshabilitada) con los parámetros adecuadamente ajustados, el tambor del cabo de alambre no girará a menos que sea necesario o que una carga excesiva de los cabos de amarre de lugar a que el freno lasque para evitar la rotura del cabo.

La capacidad de almacenamiento de carga de la banda periférica del freno es proporcional a la cantidad del momento de fuerza (“*torque*”) aplicado a la banda del freno por medio del volante del freno u otro dispositivo similar. Los principales factores que afectan a la capacidad real de almacenamiento de carga del freno son los siguientes:

La aplicación de los frenos

Se recomienda que se comprueben regularmente todos los frenos de las maquinillas para determinar los niveles adecuados del par de giro o de torsión (“*torque*”) para el accionamiento mecánico del freno con el fin de conseguir la capacidad de almacenamiento del freno de diseño en función del *MBL* del cabo de amarre que empleemos.

³⁰ Vervloesem, W. *Mooring and Anchoring Vol 2. Inspection and Maintenance*. The Nautical Institute, London 2009, p. 83.

³¹ Esta misma recomendación se realiza en Clark, I.C. *Mooring and Anchoring Vol 1. Principles and Practice*. The Nautical Institute, London 2009, p.125.

³² Clark, I.C. *Mooring and Anchoring Vol 1. Principles and Practice*. The Nautical Institute, London 2009, p.125.

Esta prueba indicará también el uso y desgaste de los ferodos del freno y del tambor de la maquinilla y proporcionará información acerca de la sustitución de los primeros o de la necesidad de mantenimiento en los últimos.

Las inspecciones de las maquinillas de los buques revelan muy a menudo que el par de giro o de torsión no se aplica al nivel establecido de diseño y en algunas pruebas fueron necesarios dos hombres para aplicar el par de giro requerido. Por esta razón, algunos operadores de *VLCC's* están instalando actualmente en los buques de nueva construcción frenos activados hidráulicamente para facilitar las operaciones de largado y cobrado de los cabos sin necesidad de reajustar la tensión del freno.

Asimismo, también se ha detectado en alguna inspección que los mandos y dispositivos de control de las maquinillas están deficientemente ubicados, hasta tal punto que en algún caso, el operador es incapaz de ver lo que ocurre en cubierta cuando los maneja. Resulta esencial, por tanto, un diseño adecuado para asegurar una operación segura y efectiva de la maquinilla.

Las capas de alambre almacenado en los tambores

Los frenos de las maquinillas de amarre están diseñados para resistir un par o momento de giro aplicado al tambor de la maquinilla con tensión. La carga máxima del cabo de amarre que puede resistir una maquinilla sin que lasque decrecerá a medida que se incrementa el número de capas del cabo en el tambor. La capacidad de freno de las maquinillas está especificada con relación a una determinada capa en particular en el tambor (p.e. la capacidad del freno iguala a 50 tons en la séptima capa para un tambor de maquinilla estándar). Si hay más o menos capas del cabo en el tambor del número para el cual la maquinilla está estimada, la capacidad del freno será menor o mayor, respectivamente que dicho valor estimado. Esto tiene un efecto importante en los frenos de las maquinillas de los petroleros que viene complicado por el hecho de que hay dos tipos de tambores en las maquinillas que se emplean en los buques: el tambor estándar único y el tambor dividido.

En el caso de maquinillas con un tambor estándar no dividido, la capacidad de almacenamiento de carga, al igual que ocurre en el caso del tambor dividido, depende del número de capas en el tambor. Resulta, por lo tanto, esencial que el operador de una maquinilla con tambor no dividido conozca el número de capas del cabo en el tambor que establece el fabricante para lograr la capacidad de diseño del freno³³. Más capas en el tambor incrementará el momento de fuerza aplicado sobre el mismo debido a que el brazo es mayor, lo que significa que una tensión menor del cabo dará lugar a que el freno permita que lasque al llegar a un porcentaje del *MBL* menor del establecido. Esto nos da una idea de la importancia de un adecuado adiestramiento y uso en el manejo de la maquinilla de tambor no dividido para asegurar un amarre adecuado y al mismo tiempo la seguridad del buque.

³³ La capacidad de almacenamiento de carga de una maquinilla de tambor estándar no dividido se estima con frecuencia para el supuesto de que existan siete capas en el tambor, lo que corresponde aproximadamente con la situación en la que todo el cabo está estibado en el tambor. Si se aplica la tensión cuando hay menos de tres capas en el tambor, entonces la capacidad de almacenamiento de carga del freno es mayor que la estimada.

El cálculo del par de frenado en función de las capas que queden estibadas en el tambor no puede, obviamente, dejarse a criterio del operador de la maquinilla. Por esta razón, en la actualidad, los buques de gran tonelaje que de construcción tenían montadas maquinillas de tambor no dividido, han reformado los carretes incorporando la chapa de división como único medio posible de asegurar que el par de frenado pueda ajustarse en las proximidades del valor requerido.

En el caso de las maquinillas de tambor dividido, para conseguir la capacidad de almacenamiento del freno especificada por el fabricante, debe de haber una capa solamente en la sección de tensión del tambor, de tal modo que si existe un mayor número de capas en el mismo, su capacidad de almacenamiento de carga es menor que la especificada por el fabricante.

La dirección de cobrado del cabo en relación al eje de los tambores

La dirección en la que llama el cabo de alambre al virarlo con la maquinilla para su estiba en el tambor, tiene un efecto relevante en la capacidad de almacenamiento de carga del freno. Las bandas de los frenos están diseñadas para tirar del alambre directamente contra la parte fija de la carcasa del freno.

La condición de la maquinilla

La condición física de las transmisiones de la maquinilla y de los ferodos del freno tiene un efecto muy importante en la capacidad de almacenamiento de carga del freno. El aceite, la humedad o la fuerte corrosión en el sistema pueden reducir la capacidad de almacenamiento de carga hasta un 25%. Muchos operadores mueven la maquinilla con el freno aplicado ligeramente al objeto de quemar o disipar el aceite o la humedad como fase previa al trabajo (sin embargo, cuando se lleva a cabo esta práctica, se debe de tener cuidado en asegurarse de que no se gastan excesivamente las zapatas del freno).

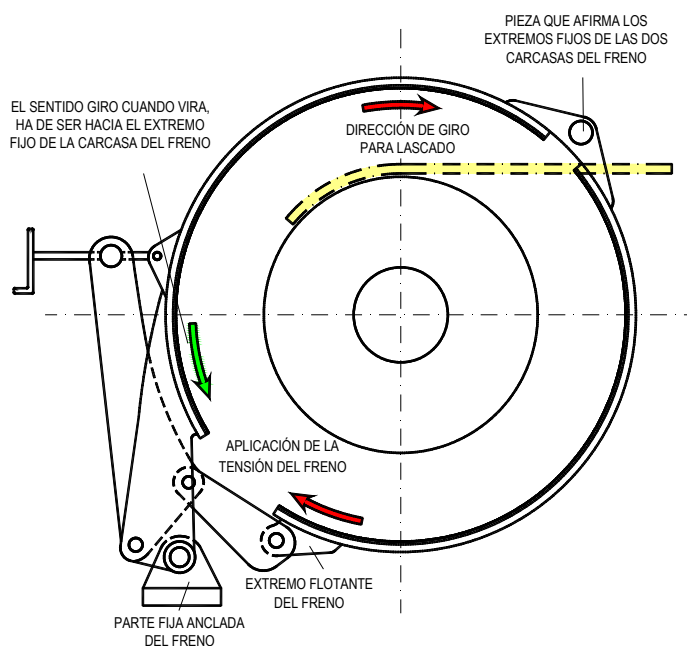


Figura 2.25 Disposición del freno, sentidos de virado y laseado de la maquinilla y enrollado y estiba del cabo de alambre en el tambor. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)



Figura 2.26 Proceso de aportación de acero inoxidable sobre el tambor de frenado de un carretel de una maquinilla utilizando soldadura automática. Fuente: NRFF

Por este motivo, cada vez es más frecuente la sustitución del material del tambor por acero inoxidable, operación que puede realizarse mecanizando el tambor y rellenando con soldadura de este material, soldando una chapa en doble sobre el existente o, en el caso de que el tambor fuese desmontable, sustituyendo el mismo por otro de un material especialmente resistente al ambiente marino. NRFF ha realizado esta modificación siguiendo los tres métodos descritos en numerosas ocasiones. La figura 2.26 recoge la imagen de un carretel en el momento de la aportación con soldadura de acero inoxidable sobre su tambor de frenado.

Una velocidad excesiva de la maquinilla puede reducir la capacidad de almacenamiento de carga por la generación de calor en las zapatas del freno.

Funcionamiento del sistema de frenado

El tiro del cabo de amarre produce un momento (M_c) sobre el eje de giro del carretel de la maquinilla igual al producto de la fuerza ejercida (F_c) por la distancia a dicho eje. Siendo R el radio del tambor de la maquinilla y r_a el radio de la amarra (véase la figura 2.27), dicho momento tendrá el valor indicado en la relación (2.3).

$$M_c = F_c \cdot (R + r_a) \quad (2.3)$$

A fin de evitar que se produzca el movimiento del carretel, este momento ha de ser contrarrestado por la acción de los ferodos sobre el tambor del freno, de forma que se genera una fuerza de reacción que se transmitirá sobre el punto fijo ubicado en la cubierta del buque (figura 2.25).

El par de frenado transmitido por los ferodos al actuar sobre el tambor es función del coeficiente de rozamiento entre ambas superficies, del área de contacto y de la fuerza aplicada sobre el husillo de apriete del soporte de la estructura móvil a través de su volante.

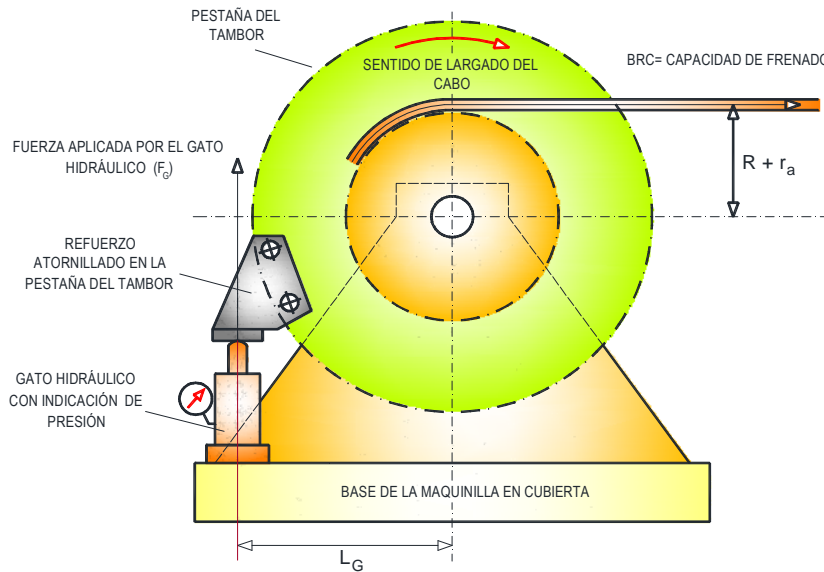


Figura 2.27 Disposición típica para la realización de la prueba de frenado. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Estimando un coeficiente de rozamiento y una superficie de contacto constantes³⁴, el par de frenado será una relación directa de la fuerza aplicada sobre el volante durante la operación. Es decir, ajustando el apriete del husillo podemos conseguir que la maquinilla arrie con un tiro de cable determinado.

Como hemos indicado anteriormente, con el fin de proteger al cabo de su rotura, la maquinilla debe arriar cuando se alcance una tensión equivalente al 60% de su *MBL*. Para localizar el punto del husillo donde se produce este efecto, se realiza de forma periódica la llamada prueba de frenado de maquinillas³⁵, consistente en la simulación del momento M_c por medio de un cilindro de accionamiento hidráulico y un útil que se afirma a la pestaña del tambor para la aplicación de la fuerza siguiendo una disposición similar a la representada en la figura 2.27.

El módulo del momento en el que la maquinilla debe empezar a desvirar vendrá determinado, de acuerdo a la relación (2.3), por un valor de la fuerza F_c igual al 60% del *MBL* de la amarra, conocido como capacidad de frenado (*BHC* o “*Brake Holding Capacity*”) y representado en la igualdad (2.4).

$$M_c = BHC \cdot (R + r_a) \quad (2.4)$$

Siendo L_G la distancia del eje de giro del tambor de la maquinilla al punto de aplicación de la fuerza del gato hidráulico y F_G la fuerza aplicada por este dispositivo (figura 2.27), el sistema podrá simularse haciendo iguales ambos momentos, de acuerdo a la ecuación (2.5).

³⁴ La estimación de un coeficiente de rozamiento constante se aleja de la realidad si tenemos en cuenta la posibilidad de presencia de contaminantes (aceites, humedad, etc.) que pueden alterarlo en gran medida. De igual forma, la superficie de contacto entre ambas varía considerablemente desde la renovación del ferodo hasta su total asentamiento tras su rodaje.

³⁵ Se recomienda realizar esta prueba con periodicidad mínima de un año, así como tras realizar una operación de mantenimiento importante sobre los frenos (OCIMF, 2008, p. 158).

$$M_c = BHC \times (R + r_a) = F_G \times L_G \quad (2.5)$$

Por lo tanto, tendremos que ejercer con el gato hidráulico una fuerza igual al siguiente valor:

$$F_G = BHC \cdot \frac{(R + r_a)}{L_G} \quad (2.6)$$

Conociendo el área efectiva del cilindro hidráulico (A_g), estampada normalmente en su carcasa, la presión que deberá soportar el freno de la maquinilla (P_G) es proporcional a la capacidad de frenado, de acuerdo a la relación 2.7.

$$P_G = BHC \cdot \frac{(R + r_a)}{L_G \cdot A_g} \quad (2.7)$$

Una vez conocida la presión que hemos de aplicar al sistema hidráulico, es necesario ajustar el husillo de forma que el freno empiece a deslizarse una vez alcanzado este valor. En la práctica, esta operación se realiza apretando fuertemente el freno y a continuación bombeando aceite al cilindro hasta alcanzar la presión determinada teóricamente. Seguidamente, se aflojará poco a poco el volante hasta que el tambor comience a girar, obteniéndose la posición buscada que se marcará, en el caso de maquinillas antiguas, como la de la figura 2.25, con una pareja de tuerca-contratuerca enfrentada a un índice solidario a una parte fija de la maquinilla³⁶. En el Anexo 2.2 puede encontrarse el informe emitido por NRFF tras realizar la prueba de todas las maquinillas del buque LNG *GOLAR SPIRIT*.

El desgaste de los ferodos debido a su uso continuado provocará una disminución progresiva de la capacidad de frenado como consecuencia de una fuerza de apriete cada vez menor. Este efecto tendrá una especial relevancia cuando la prueba se haya realizado inmediatamente después de la renovación de ferodos sin haber tenido en cuenta un rodaje posterior y, por lo tanto, un amoldado de éstos a la figura del tambor.

Con el fin de evitar este problema, los frenos de las maquinillas han evolucionado de forma que los buques de nueva generación incorporan un resorte en el sistema, constituido normalmente por arandelas de presión del tipo *belleville*³⁷ (figura 2.28). El índice de tensión (60% - 80%) sirve como dinamómetro de lectura, reflejando la deformación del muelle con respecto a su alojamiento y, por lo tanto, la fuerza aplicada sobre el freno, que se mantendrá constante siempre que el volante se regule de acuerdo a esta escala, independientemente del desgaste que pudieran tener los ferodos.

³⁶ El montaje de un tope mecánico que impida que el freno no pueda tensarse más allá del 60% del *MBL* en caso necesario no está permitido (*OCIMF*, 2008, p. 152).

³⁷ Son arandelas cónicas que pueden montarse para crear un resorte de compresión potente. A menudo se usan para soportar aplicaciones con cargas altas y espacio insuficiente para un resorte espiral. Dependiendo de que se monten enfrentadas o en paralelo, permiten conseguir distinta flexibilidad.

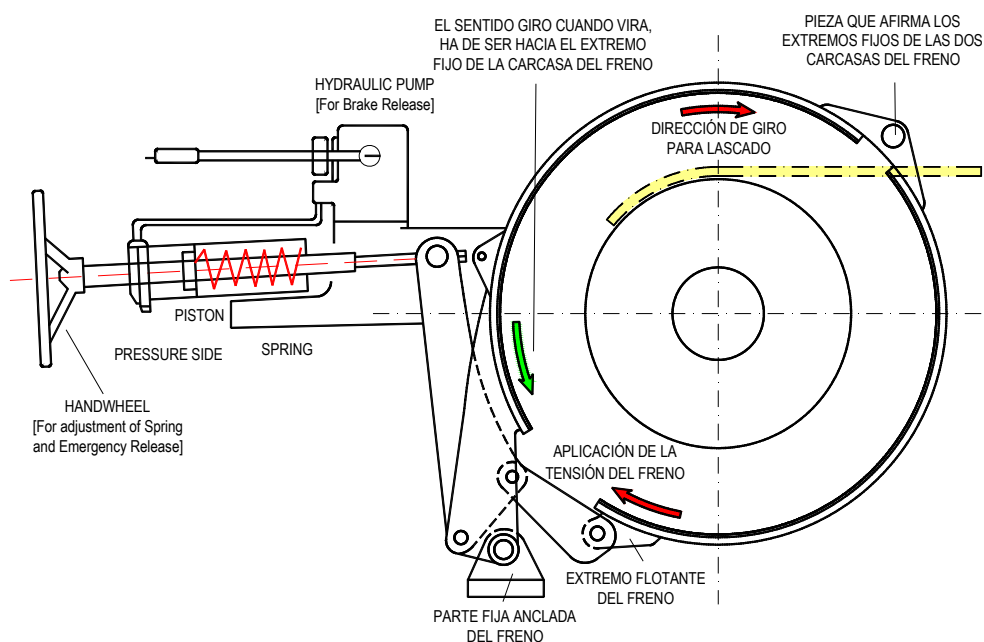


Figura 2.28 Esquemático de maquinilla con freno sobre resorte y sistema hidráulico de zafado del mismo. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Este sistema incorpora, asimismo, un pistón que permite la liberación del freno de forma rápida y segura cuando se le aplica presión hidráulica en la cara opuesta al resorte, procedente de una bomba localizada en la misma maquinilla o del propio sistema, cuando ésta sea de accionamiento hidráulico.

La liberación de la presión de aceite sobre el pistón deja la maquinilla sobre su posición “frenada” con la tensión ajustada en la prueba, de forma que solamente será necesario mover el volante en el caso de que, debido al desgaste del ferodo o algún mecanismo intermedio, se haya desplazado el índice de tensión de su posición.

Aunque la modificación descrita constituye una indudable mejora como comprobaremos en el capítulo 8, es necesario indicar la importancia del efecto de zafado de las maquinillas antes de producirse la rotura del cabo que manejan, desde el punto de vista de su contribución a la resistencia del sistema global de amarre del buque.

El zafado incorrecto de las maquinillas supondría un reparto desigual de cargas entre las líneas de amarre, provocando, ante fenómenos adversos, la rotura en cascada de los cabos, aun cuando el diseño del sistema de amarre hubiera sido estudiado minuciosamente.

Existen ya en el mercado sistemas que, con la ayuda de elementos electrónicos, permiten la visualización en pantalla del tiro soportado por cada una de las amarras³⁸. Sin embargo, se echa de menos un sistema mecánico, adaptado al ambiente marino, capaz de hacer zafar el carretel de forma independiente a la disponibilidad de energía eléctrica, al estado de los ferodos, del tambor o a la presencia de contaminantes entre ambos.

³⁸ Un ejemplo del mismo, desarrollado por *ISYM MOORING*, puede verse en el Anexo 2.3.

Cabirones

Sobre el eje de las maquinillas de amarre y en uno de sus extremos, se monta un cabirón (“*warping drum end*”) que permite cobrar y lascar un cabo para reforzar el sistema de amarre habitual del buque.

El cabirón es solidario con el eje principal de la maquinilla y, por lo tanto, su movimiento es independiente al de los carreteles, que solamente se moverán de forma conjunta cuando estos se encuentren embragados.

Alineadas con este cabirón se disponen una guía de costado y una bita que permiten, tras el abozado, hacer firme el cabo, tal y como muestra la figura 2.29.

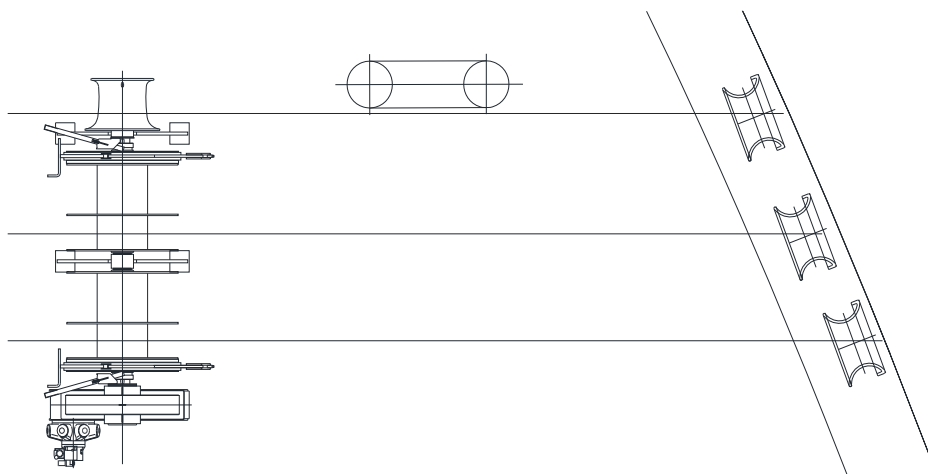


Figura 2.29 Detalle del plano de amarre de una maquinilla de proa del buque LNG MADRID SPIRIT. Fuente: NRFF

2.7 ELEMENTOS FIJOS DEL AMARRE

Conjuntamente con las maquinillas y los cabos, las guías de costado constituyen el tercer elemento fundamental del sistema de amarre del buque. Las guías permiten el cambio de dirección de las amarras para buscar los puntos de sujeción en tierra. Como consecuencia de ello, éstas se verán sometidas a fuerzas mayores que los otros elementos citados, especialmente cuando el cambio de dirección se acerque a 180°, obteniéndose valores de fuerzas de reacción próximas al doble del tiro ejercido.

Tal y como apuntamos en el estudio de los cabos, las guías han de permitir el trabajo de los mismos dentro de sus límites de curvatura a la vez de ofrecer una superficie suave sobre la que puedan trabajar deslizándose sin que se produzca un desgaste excesivo. Podemos distinguir tres tipos fundamentales de guías de costado:

1. Guía tipo Panamá (“*panama-type chock*”)³⁹: Especialmente apropiada para su uso con cabos de gran diámetro donde los efectos del radio de curvatura son relevantes, posee la ventaja de un bajo coste de mantenimiento, aunque se ha de prestar especial cuidado en el estado de las superficies de apoyo de los cabos, sobre todo cuando se utilicen fibras sintéticas. Para

³⁹ No debe confundirse el término “*guía tipo Panamá*” con la guía Panamá obligatoria para el paso de este canal, cuyas dimensiones se encuentran totalmente definidas.

determinar el diámetro interior de la guía se ha de tener en cuenta en la fase de diseño el paso a su través de las gazas de los calabrotes y sus grilletes de unión con los cabos principales.

Como puede apreciarse en la imagen de la figura 2.30, tanto la forma como el tamaño de la guía han de adaptarse al ángulo de tiro previsto con el fin de ofrecer el radio de curvatura adecuado.



Figura 2.30 Diferentes tipos de guías de costado tipo Panamá montadas en la banda de estribor del buque LNG BERGÉ ARZEW, varado en el dique 3 de Ferrol. Fuente: Autor

2. Guía de rodillos (“roller fairlead”): Está constituida por un bulón central de acero orientado en sentido vertical y afirmado en su base, sobre el que gira un casquillo de bronce solidario al rodillo. Puede montarse en el costado, aunque es más frecuente su uso en guías pedestal (figura 2.31), que sirven para direccionar el cabo hacia la banda opuesta a la maquinilla de amarre, al objeto de que el mismo llame perpendicularmente al eje de la maquinilla.



Figura 2.31 Guía pedestal perteneciente a la disposición de amarre de proa del buque LNG BRITISH SAPPHIRE. Fuente: Autor

Debido a que la fuerza se transmite de forma íntegra a la base del bulón, donde la superficie que se ha de estructurar al buque es muy pequeña, este tipo de guías requieren una revisión periódica

con el fin de evitar su rotura. Este problema se ve disminuido cuando la guía se encuentra cerrada en su cara superior alojando un segundo apoyo del bulón.

3. Guía universal de rodillos (*“universal roller fairlead”*): Incorpora el montaje de varios cilindros giratorios horizontales y verticales, que giran sobre casquillos de bronce formando diversas disposiciones, de las que la figura 2.32 muestra un ejemplo. Este tipo de guía reduce la fricción con el cabo y mejora la capacidad de virado de la maquinilla pero posee el inconveniente de la necesidad de un mantenimiento importante así como una destacada limitación cuando se requieren radios de giro amplios que obligaría a la construcción de cilindros de gran diámetro.



Figura 2.32 Guía universal de rodillos. Fuente: <http://www.anchorchain.cn>

Aunque existen otros elementos específicos de amarre, que serán tratados con profundidad en el capítulo 8, los buques dotados de maquinillas con carreteles que sirven de estiba de los cabos (*“dedicated mooring winches”*) disponen también de bitas de amarre sobre cubierta para recibir amarras de refuerzo en caso necesario.

A diferencia del equipo de fondeo, el diseño y prueba de todos los elementos que componen el amarre del buque (bitas, guías, maquinillas y cabos) no están sometidos a la revisión de las Sociedades de Clasificación. Sin embargo, sí lo está la integridad estructural de la cubierta sobre la que se montan, requiriéndose un estudio individualizado donde, teniendo en cuenta las cargas a las que se verán sometidos, se habrán de justificar las tensiones transmitidas y, como consecuencia de las mismas, los reforzados necesarios.

Ejemplo de ello es que las bitas de amarre de diámetros comprendidos entre 100 y 800 milímetros se encuentran reguladas por la norma ISO 3913 que define sus materiales de construcción, espesores, factores de seguridad y de prueba de carga aplicables. No especifica sin embargo, los procedimientos de fabricación y soldadura, propios de cada fabricante, que serán los responsables de asegurar que las bitas cumplen con los requisitos definidos.

Todos los elementos de amarre han de indicar de forma clara su carga segura de trabajo⁴⁰. Para elementos de cubierta, esto se lleva a la práctica marcando con un cordón de soldadura las letras *SWL* seguidas de la carga en toneladas.

El tipo de bita mayormente utilizado en los buques de cierto tamaño es el de bita doble (“*double bollard*”), como el mostrado en la figura 2.33, que permite afirmar los cabos de dos formas distintas:

- Encapillando una gaza directamente a uno de sus pilares. Bajo esta disposición la bita es capaz de soportar el doble de carga que el reflejado en su *SWL*.
- Construyendo con el cabo la figura de un ocho sobre la bita. La carga total en cada uno de los pilares de la bita será la suma de todas las fuerzas que actúan en cada una de las capas, que puede llegar a ser mayor que la carga máxima que puede soportar el propio cabo, induciendo un alto estrés sobre los pilares que tiende a acercarlos en su parte superior, constituyendo una disposición mucho menos resistente que la anterior⁴¹.

El *SWL* de una bita debe de indicarse considerando que el cabo sigue la figura de un ocho. Es decir, bajo la peor condición de carga.

Por este motivo, cuando se espera que un cabo alcance cargas elevadas, se debe dar una vuelta completa en el pilar de la bita más próximo al tiro antes de proceder a construir los sucesivos ochos. En el caso de que el cabo a hacer firme estuviese fabricado por fibras sintéticas *HMPE* sin camisa de protección se darán de inicio dos vueltas completas considerando su bajo coeficiente de fricción.

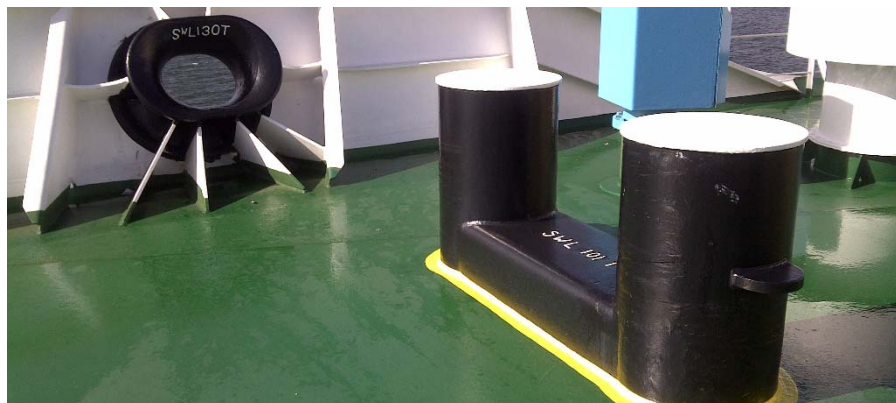


Figura 2.33 Conjunto de bita doble y guía tipo panamá utilizado para reforzado de amarre en proa, costado de estribor del buque LNG BRITISH INNOVATOR. Fuente: Autor

⁴⁰ En adelante *SWL* (“*Safe Working Load*” o “*Carga Segura de Trabajo*”) que corresponde a la carga máxima a la que el elemento puede estar sometido de forma continuada.

⁴¹ Como premisa de diseño, se debe considerar que la carga que puede soportar la bita cuando el cabo sigue la figura de un ocho es la mitad de la que soportaría encapillado una gaza a una altura de 1,2 veces el diámetro del pilar o menor (OCIMF, 2008, p. 164).

Cuando se utilicen alambres no será posible dar la vuelta completa debido a que el radio de giro es muy pequeño, lo que obligará a incrementar el número de ochos a realizar. Se recomienda amarrar entre sí con una sisma los tres o cuatro ochos superiores en la zona de cruce para mejorar el afirmado.

El diseño de las bitas cruciformes, al incorporar un refuerzo horizontal entre ambos pilares, evita el problema del estrés en los mismos. Sin embargo, este tipo no se utiliza para labores de amarre y su uso se limita a servir de punto de anclaje de retenidas para las maniobras con mangueras en la zona del *manifold* de carga con valores bajos de *SWL*.

**CAPÍTULO III: LA ESTANCIA SEGURA DEL BUQUE EN
PUERTO: DELIMITACIÓN DE
RESPONSABILIDADES**

3.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de los buques mercantes persigue el doble objetivo de navegar y realizar las operaciones de carga y descarga de la manera más eficiente y segura posible. Es por este motivo que su estancia segura en puerto ha sido abordada tradicionalmente como un asunto de interés secundario atendiendo a motivos tanto de probabilidad como de severidad del riesgo al que puede verse sometido en esta situación. Prueba de ello lo constituye el hecho de que en la actualidad no existen reglas estrictas que regulen los sistemas de amarre.

Si bien los elementos utilizados habitualmente para tal fin se hayan estandarizados bajo diversas normas (*ISO*⁴², *BS*⁴³ o *JIS*⁴⁴), éstas se limitan a establecer requerimientos mínimos que aseguren su integridad en función de las cargas para las que han sido diseñados pero, en ningún momento, plantean su integración en un sistema de amarre (Schellin and Østergaard, 1993, p. 451).

Por otro lado, las Sociedades de Clasificación han desarrollado reglas que definen ciertos elementos relacionados con la estancia del buque en aguas poco profundas o su remolque en caso de emergencia, tales como el equipo de fondeo del buque y los remolques de emergencia de proa y popa, sobre los que profundizaremos en el capítulo 8. Sin embargo, en lo referente a los elementos de amarre tradicionales (bitas, guías, cabos,...) el objetivo perseguido hasta el momento ha sido el de preservar la resistencia de la cubierta de las reacciones que éstos pudieran inducir en ella a través del visado de los cálculos estructurales y del seguimiento de su instalación (comprobando tanto la cualificación de los medios humanos como la calidad de los materiales, así como definiendo y certificando las pruebas de ensayos, tanto destructivos como no destructivos, que se estimase preciso realizar).

Esto nos posiciona en un escenario en el que conviven, por una parte, una gran diversidad de buques en cuanto a su tamaño, formas y sistemas de amarre y, por otra, multitud de puertos de características diferentes, tanto desde el punto de vista de su configuración como de las condiciones meteorológicas particulares a las que pueden encontrarse sometidos, careciendo este conjunto de una regulación oficial. Fruto de este vacío de legislación, los accidentes en tales condiciones son más habituales de lo deseable. A continuación citaremos una parte de aquellos que han tenido una mayor repercusión en los medios⁴⁵, aunque posteriormente analizaremos otros con más detalle con el fin de extraer las causas que los generaron:

- **DISCOVERER ENTERPRISE:** El buque-plataforma rompió amarras la madrugada del 13 de enero de 1998 en el muelle de Astano (Fene) donde se encontraba atracado y colisionó contra el puente de As Pías, que permaneció inoperativo durante varios meses. Vientos huracanados

⁴² International Standard Organización es una norma internacional de estandarización.

⁴³ British Standard está constituida por el conjunto de normas de aplicación en el Reino Unido.

⁴⁴ Japanese Industrial Standard es su homóloga en Japón.

⁴⁵ En el Anexo 3.1 puede encontrarse más información de cada uno de los citados accidentes.

que soplaron aquella noche impidieron que la acción de los remolcadores frenase la deriva de la plataforma.

- **J.J. SISTER:** El 28 de noviembre de 2005 este ferry se ve sorprendido por la tormenta tropical Delta en el puerto de Tenerife. Rompe sus amarras y colisiona con el remolcador PUNTA TARIFA que se hunde como consecuencia del impacto.
- **TRANS FUTURE 7:** El *car-carrier* de 60 mil toneladas de registro bruto rompe sus 14 cabos en una tormenta de viento el 17 de julio de 2007 en el puerto de Wellington (Nueva Zelanda). La actuación de los remolcadores del puerto evitó mayores daños.
- **DAESAN MAERKS:** La rotura de varios cabos como consecuencia del temporal de viento registrado el 12 enero de 2010 en el puerto de Algeciras obliga al portacontenedores a abandonar el muelle con 15 estibadores a bordo que no pudieron ser desembarcados hasta la llegada del buque a Málaga.
- **ABEL MATUTES:** Vientos de más de 100 km/h provocan que el ferry que se encontraba en la última fase de su construcción en el Astillero de Barreras (Vigo) se quedase a la deriva el 14 de enero de 2010, colisionando con su gemelo ALHUCEMAS de *Balearia*.
- **MSC SPLENDIDA:** Una violenta ráfaga de viento hace que el buque se abra de uno de los atraques de la terminal de cruceros de Génova el 24 de julio de 2010, provocando la caída de la pasarela de acceso a bordo cuando estaba siendo cruzada por un grupo de pasajeros. Una mujer fallece en el acto tras impactar contra el muelle.
- **NORWEGIAN STAR:** Vientos de más de 80 km/h provocan que el crucero rompa varios cabos el 14 de septiembre de 2012 en el Heritage Wharf de Bermuda, colisionando con el EXPLORER OF SEAS, otro buque de las mismas características atracado por su proa.
- **CARNIVAL TRIUMPH:** El 3 de abril de 2013 el crucero, propiedad de *Carnival Cruise Lines*, se ve sorprendido por una tormenta con vientos de más de 120 km/h cuando se encontraba reparando en el Astillero que gestiona *BAE SYSTEMS* en Alabama. El buque abate como consecuencia de la rotura de cuatro norayes del muelle y los remolcadores del puerto son capaces de controlar su movimiento después de colisionar contra una draga de la Armada Norteamericana. Un vigilante de seguridad del Astillero pierde la vida al ser arrastrada al mar la caseta de vigilancia en la que se encontraba.

Como puede deducirse de los ejemplos citados, la probabilidad de ocurrencia de un accidente durante la estancia en puerto aumenta en gran medida cuando confluyen episodios meteorológicos que generan

vientos de gran intensidad, oleaje o corrientes con aquellos tipos de buque con una gran superficie de exposición a los mismos. Así lo confirma una circular publicada por la compañía aseguradora GARD AS⁴⁶ en septiembre de 2008 que, tras investigar varios accidentes que dieron lugar a daños personales, colisiones con otros buques, averías en las estructuras del muelle o daños al Medio Ambiente, concluye en que la razón principal es la falta de una adecuada evaluación del riesgo e identifica otros factores críticos:

- Diseño, posición y/o calidad de los equipos de amarre del muelle inadecuados.
- Problemas en la disponibilidad de los servicios del puerto (prácticos, amarradores, remolcadores).
- Proximidad excesiva de otros buques en el amarre.
- Procedimientos de emergencia de la terminal deficientes.
- Diseño, tipo y condición del equipo de amarre del buque limitado o sujeto a un mantenimiento deficiente.
- Ausencia de una disposición de amarre debidamente diseñada y calculada previamente.
- Tripulación insuficiente para la vigilancia de los cabos de amarre.
- Dificultades para la disponibilidad del motor principal, hélice transversal, anclas y/o suministro de energía en cubierta para abordar situaciones de emergencia.

Concluye este interesante informe (disponible en el Anexo 3.2) apelando a la pro-actividad del Capitán para hacer frente a las condiciones meteorológicas anunciadas, solicitando información tanto a las autoridades portuarias como al agente o los prácticos, lastrando el barco adecuadamente y manteniendo la tripulación operativa para salir a la mar en caso necesario.

Es digna de mención también una carta publicada por CESMA⁴⁷ en julio de 2009 que hace referencia a otro factor importante para afrontar la toma de decisiones en condiciones meteorológicas extremas, tal como la formación profesional tanto de las tripulaciones como de los operadores de puerto, cuando *“los procedimientos habituales pierden su valor y las decisiones han de estar basadas en la cooperación, respeto mutuo y entendimiento entre ambas partes, relegando a segundo plano los posibles intereses comerciales o políticos”* (Cesma, Newsletter no. 48, p.6).

En el ámbito marino es generalizada la creencia de que la responsabilidad de un amarre seguro depende única y exclusivamente del Capitán, pero, tomando en consideración los factores citados, podemos deducir fácilmente que una buena parte de los mismos se encuentra lejos de su control y, por lo tanto,

⁴⁶ GARD AS es uno de las mayores compañías aseguradoras en el ámbito marítimo con base en Noruega y que dispone de una extensa red internacional de delegaciones. Puede encontrarse más información en su página web oficial (www.gard.no).

⁴⁷ CESMA (*Confederation of European Shipmasters' Associations*) es la confederación europea de las diferentes asociaciones nacionales de capitanes. La carta mencionada puede consultarse en el Anexo 3.2.

darán lugar a que aparezcan en escena otras personas o entidades que habrían podido contribuir a haber evitado la generación del accidente.

A lo largo del presente capítulo intentaremos arrojar un poco de luz acerca de las obligaciones del buque y de la instalación donde se encuentre atracado con respecto tanto a su amarre seguro como a la adecuada actuación para hacer frente a una situación de alerta provocada por condiciones meteorológicas adversas. Como es natural, de dichas obligaciones se derivarán las consecuentes responsabilidades, aunque hemos de mantener siempre presente que, llegado el caso, será un juez quién las acote finalmente.

Para alcanzar tal fin, hemos creído conveniente estructurar este estudio en las fases siguientes:

1. Identificar las obligaciones que recaen sobre las instalaciones portuarias que operan como terminal de carga/descarga para productos derivados del petróleo, debido al amplio desarrollo alcanzado y las experiencias adquiridas en este ámbito (Sección 3.2).
2. Emplear la misma estrategia para el caso de puertos de carga/descarga de mercancías no peligrosas y conocer la reglamentación y la estructura de control desarrollada por el Estado Español (Sección 3.3).
3. Analizar las investigaciones realizadas por los organismos estatales de diferentes países como consecuencia de accidentes relacionados con el amarre para extraer sus causas y las recomendaciones efectuadas, con el fin de extrapolarlas al ámbito de nuestro estudio (Sección 3.4).
4. Plantear el caso concreto de la estancia del buque en el Astillero de Reparación y sus particularidades, elaborando finalmente, a modo de síntesis, un resumen de obligaciones que nos marcarán el camino a seguir en el desarrollo posterior de nuestro trabajo (Sección 3.5).

3.2 EL AMARRE EN LAS TERMINALES PETROLÍFERAS Y DE GAS

Las terminales de carga y descarga de los productos derivados de petróleo y gas natural licuado son punteras en materia de evaluación de los riesgos de todas sus operaciones y en la consecuente puesta en marcha de acciones para su mitigación o contingencia debido tanto a la peligrosidad intrínseca de los productos que se manejan como a la repercusión que un accidente pudiera tener en la situación económica de las empresas que las operan. Sin duda alguna, podemos incluir la estancia segura del buque en puerto como una de las más estudiadas.

En un intento de paliar la ausencia de normativa a la que nos referíamos anteriormente, la *OCIMF* publica la primera de sus guías y recomendaciones de amarre en el año 1978 para su aplicación en buques petroleros que posteriormente se ve mejorada en sucesivas ediciones a través de la formación de un grupo de trabajo en el que se integran *INTERTANKO* (*International Association of Independent Tanker Owners*), *IACS* (*International Association of Classification Societies*), *ICS* (*International Chamber of Shipping*), *SIGTTO* (*Society of International Gas Tanker and Terminal Operators*), *IAPH*

(*International Association of Ports and Harbours*), *IHMA (International Harbour Masters Association)* y *NI (Nautical Institute)*.

Esta guía (“*Mooring equipment guidelines*”), además de ofrecer los principios básicos de amarre (bien conocidos en el mundo náutico como “*principles of mooring*”) trata de resolver técnicamente una serie de aspectos relacionados con la estancia segura del buque en puerto, entre los que cabe destacar:

- El desarrollo de un método que permite el cálculo de la fuerza a la que puede verse sometida el buque a partir de las superficies de exposición al viento y corriente, que estudiaremos con mayor detalle en el capítulo 5.
- La definición de los coeficientes de seguridad para los diversos elementos utilizados en el amarre, tales como bitas, guías, etc.
- El análisis de las características de los diferentes materiales de fabricación de los cabos.
- Destacar la importancia de los frenos de las maquinillas y el establecimiento de su prueba periódica.

Las sucesivas publicaciones elaboradas por el mencionado grupo de trabajo han traído como consecuencia la reforma de una buena parte de los sistemas de amarre de los buques existentes que han supuesto el incremento de capacidad de frenado de sus maquinillas o en el montaje de nuevas unidades y en los que *NRFF* ha estado involucrada directamente en su diseño y/o ejecución a bordo en varias ocasiones.

Asimismo, tanto por su calidad didáctica como por su rigurosidad, han servido de base para el diseño de la disposición de amarre de cualquier otro tipo de buque. Sin embargo, es necesario mencionar que en un ámbito distinto al del transporte de crudo y gas natural no constituye más que una serie de **recomendaciones** cuyo cumplimiento depende exclusivamente del compromiso que los armadores o las instalaciones portuarias puedan asumir en materia de seguridad.

De manera similar, se crea la guía *ISGOTT* (“*International Oil Tanker and Terminal Safety Guide*”) con el fin de advertir de los riesgos de los productos petrolíferos y de establecer unos requerimientos mínimos que permitan conseguir una cierta estandarización de los sistemas para facilitar un mejor conocimiento mutuo entre buques tanque y terminales. Se encuentra estructurada en cuatro partes bien diferenciadas:

- **PARTE 1 (Información general):** Identifica los principales riesgos de los productos petrolíferos, los procedimientos a seguir para evitar las fuentes de ignición y los métodos de extinción de incendios.
- **PARTE 2 (Información del buque-tanque):** Establece requerimientos mínimos de diferentes equipos de a bordo e instrucciones básicas de obligado cumplimiento por parte de la tripulación.

- PARTE 3 (Información de la **terminal**): Define la obligatoriedad de un estudio de compatibilidad entre la terminal y el buque previo a la llegada de éste, establece métodos de control, supervisión y coordinación de las diferentes operaciones y exige la elaboración y difusión de procedimientos de actuación en caso de emergencia.
- PARTE 4 (**Coordinación** entre ambos): Identifica la necesidad de coordinación entre buque y terminal con respecto al amarre, gestión de las comunicaciones y compatibilidad de sistemas.

La guía *ISGOTT* constituye un avance fundamental al establecer la obligatoriedad de diseñar y cumplir los procedimientos necesarios que garanticen la comunicación y coordinación entre el buque y la terminal así como dictar las normas generales a seguir.

Dando continuidad a esta importante labor y al objeto de establecer un formato estándar que recogiera toda la información proporcionada por la terminal y de que ésta pudiera ser compartida con sus usuarios, agentes de buques y autoridades locales, *OCIMF* desarrolla un cuestionario (MTPQ)⁴⁸ que, debidamente cubierto y almacenado en una base de datos electrónica, se encuentra a la libre disposición de sus miembros. Dicha información se ve complementada a su vez con aquella procedente de los buques petroleros y gaseros que asimismo se encuentra regulada por un programa, impulsado por la *OCIMF* desde el año 1993, conocido como SIRE⁴⁹.

Del estudio de las publicaciones referidas (*OCIMF*, *ISGOTT* y MTPQ), podemos extraer aquellas obligaciones relacionadas con el amarre que claramente recaen en el lado de la terminal y que podrían, de esta forma, ser decisivas a la hora de definir responsabilidades en el caso de la ocurrencia de un accidente. Entre ellas, cabe destacar aquellas previas a la maniobra de atraque de aquéllas otras a cumplimentar durante la estancia del buque en el muelle:

OBLIGACIONES PREVIAS A LA MANIOBRA DE ATRAQUE

- La terminal debe suministrar información precisa de los parámetros principales del muelle, tales como eslora, características del fondo, recorrido de mareas y calado máximo admisible (MTPQ, 2011, p.17). Asimismo, se indicará el *SWL* y la posición exacta de cada uno de los puntos de amarre (*ISGOTT*, 2006, ch. 16).
- Se proporcionarán las características, limitaciones y posición de las defensas del muelle de atraque, fijando la máxima velocidad de aproximación (MTPQ, 2011, p.29).

⁴⁸ MTPQ son las siglas correspondientes a *Marine Terminal Particulars Questionnaire*, cuya versión 5 puede ser consultada íntegramente en el Anexo 3.3.

⁴⁹ El programa SIRE (*Ship Inspection Report Programme*) ha sido diseñado para establecer una condición mínima de obligado cumplimiento para todos los buques de transporte de gas o derivados del petróleo a través de inspectores acreditados y utilizando una única herramienta de evaluación de riesgos que tiene como resultado una gran base de datos a disposición de los “*charterers*”, “*managers*”, operadores de terminales y autoridades gubernamentales.

- Antes de proceder al atraque, se le hará entrega al Capitán, bien directamente o a través del práctico, del correspondiente plan de amarre (*ISGOTT*, 2006, ch. 22.3.2) que facilite el tendido de los cabos de acuerdo a la disposición estudiada previamente⁵⁰ en la que se han de contemplar las condiciones atmosféricas mínimas designadas por la *OCIMF* (*OCIMF*, 2008, p.32) junto con aquellas otras particulares de la zona de influencia de la terminal que fuesen más restrictivas.
- Se especificará el mínimo número de cabos de amarre necesario, distinguiendo entre largos, traveses y esprines (MTPQ, 2011, p.23)
- La terminal definirá las condiciones meteorológicas límites (viento, oleaje, corriente,...) que darán lugar a la paralización de las operaciones de carga/descarga, la desconexión de mangueras, la disposición de remolcadores en *stand-by*, la presencia del práctico a bordo y la salida del buque a la mar (MTPQ, 2011, p.23)
- Se establecerán los canales de comunicación de operaciones y de emergencia así como los procedimientos aplicables (*ISGOTT*, 2006, ch. 22.3.2).

OBLIGACIONES DURANTE LA ESTANCIA DEL BUQUE EN EL MUELLE

- La terminal ha de disponer de un Manual de Respuesta ante Emergencias que contemple los procesos de primera intervención e incluya la posibilidad de que ésta no pudiera controlarse con los medios propios y haya de elevarse a los ámbitos local, regional o nacional (*ISGOTT*, 2006, ch. 20).
- A la llegada del buque se habrán de inspeccionar tanto los cabos como sus maquinillas con el fin de detectar cualquier anomalía que pudiera poner en riesgo la seguridad (*OCIMF*, 2008, p.18). Asimismo, durante su estancia se mantendrá un control sobre aquellos comprobando que la atención prestada por la tripulación en función de la condición de marea sea la adecuada (*OCIMF*, 2008, p.19). La terminal está obligada a realizar inspecciones conjuntas con la tripulación y registrarlas de acuerdo a un formato establecido ("*Ship/Shore Check List*", disponible en el Anexo 3.3) con el objeto de comprobar que las condiciones de seguridad del buque se mantienen durante su estancia.
- Basado en el conocimiento de las características climáticas locales, la terminal tiene obligación de transmitir al buque los riesgos especiales a los que puede verse sometido. Se recomienda, asimismo, la monitorización continua de las magnitudes que puedan suponer un mayor riesgo, a través del uso de una red de sensores específica que podrá sustituirse por los datos recibidos

⁵⁰ Antes de aprobar la entrada de un nuevo buque a la terminal, se ha de realizar un estudio de compatibilidad en el que, además de analizar la resistencia del amarre, se comprobarán otros parámetros fundamentales para las operaciones, tales como la posición de los brazos de carga con respecto al *manifold* del buque, la posibilidad de utilización de la pasarela de acceso a bordo, flujos, presiones y temperaturas límite de operación, etc. En los Anexos 5.3 a 5.6 pueden consultarse ejemplos de estudios de resistencia de amarres de varios buques.

de una estación climática cercana (ISGOTT, 2006, ch. 16). A modo de ejemplo, puede encontrarse en el Anexo 3.3 el cuestionario MTPQ cubierto con los datos de la terminal de descarga de GNL del puerto de Sines (Portugal). Mención especial merece el estudio presentado para advertir del peligro que pueden suponer las olas de largo periodo en el amarre (6.1.4.4) y la disposición de los medios necesarios para su observación.

- Es recomendable disponer de líneas de amarre adicionales para su uso en caso de necesidad (OCIMF, 2008, p.19).

De las citadas obligaciones se desprende que la terminal juega un papel importante en el amarre del buque, especialmente cuando las condiciones meteorológicas sean adversas. Son destacables las dos citas siguientes:

- *“Aunque la responsabilidad del amarre de un petrolero recae en el capitán, el terminal tiene interés en que el barco esté amarrado de forma segura. Las mangueras o brazos de carga no deben conectarse sin que los representantes de la terminal y el capitán estén satisfechos con el amarre”* (ISGOTT, 2006, ch. 23.2).
- *“La seguridad del buque y, en consecuencia, de su amarre adecuado, es responsabilidad del capitán. Sin embargo, la terminal posee el conocimiento de las condiciones ambientales locales así como las posibilidades de amarre del muelle, con lo que debe aconsejar al capitán con respecto a la disposición de amarre y los límites de operación”* (ISGOTT, 2006, ch. 23.4).

Algún otro manual de reconocido prestigio atribuye también a la terminal la función de realizar previamente la disposición de amarre. Así:

- *“La terminal preparará una **disposición de amarre óptima para cada tipo de buque que pueda permanecer en ella**”* (Seamanship International, 2007, p.85), o,
- *“Mientras que amarrar de forma segura, **siguiendo la disposición preparada por la terminal**, y asegurarse de que los cabos son atendidos adecuadamente durante la estancia del buque es responsabilidad del capitán, el representante de la terminal debe también asegurarse de que la gestión del amarre sea la correcta”* (Seamanship International, 2007, p.100).

Sin embargo, en la práctica esta regla no es de aplicación puesto que es el armador quién realiza o contrata el estudio de amarre utilizando como base los datos suministrados por la terminal, quién se limita a revisarlo y aprobarlo. A modo de ejemplo, pueden encontrarse en el Anexo 3.3 las regulaciones correspondientes a la terminal de Singapur (SRC).

Haciendo una recapitulación de lo expuesto, podemos afirmar que a la terminal, como propietaria de la instalación donde se encuentra el buque, le corresponden las funciones de asegurar que los medios

propios se encuentren en las debidas condiciones de funcionamiento y de coordinar las actuaciones de emergencia que pudieran producirse. Asimismo, se le requiere una actitud pro-activa aprobando la disposición de amarre prevista y manteniendo una continua supervisión durante la estancia del buque con el fin de detectar cualquier anomalía que pudiera poner en riesgo la seguridad, especialmente en lo relativo a la predicción de fenómenos meteorológicos adversos.

3.3 EL AMARRE EN UN PUERTO COMERCIAL: LA ADMINISTRACIÓN MARÍTIMA ESPAÑOLA

En el caso de ocurrencia de un accidente, las responsabilidades se derivarán en consonancia con las funciones previamente encomendadas. Estas funciones, como acabamos de estudiar, se encuentran bien definidas en el ámbito de las terminales y buques tanque, fruto de las recomendaciones realizadas por las partes implicadas en la coordinación.

Sin embargo, si nos alejamos del mundo del transporte de las mercancías peligrosas, la creencia general, tal y como comentábamos en la introducción de este capítulo, es que **el Capitán del buque es el único responsable de su amarre** y estancia segura en el muelle. Hemos encontrado información referencia a varias sentencias judiciales⁵¹ que podrían confirmar esta aseveración:

- Trade Banner Line, Inc. contra Caribbean Steamship Co. (1975)
- Bunge Corporation contra M/V Furness Bridge (1977)
- Delta Commodities contra M/T Joe Oak (1988)

Todas ellas coinciden en que la responsabilidad de la rotura de amarras debida a las malas condiciones meteorológicas no puede ser imputada a la instalación portuaria, especialmente en aquellos casos en los que la asistencia del práctico es obligatoria con el fin de asesorar al Capitán e informarle de los riesgos particulares a los que la zona de amarre pudiera estar sometida. La propietaria de los muelles, siempre que no haya asumido obligaciones contractuales en esta materia, tiene la obligación de cumplir exclusivamente con:

1. Informar al Capitán de aquellos **peligros que no sean evidentes**.
2. Mantener las instalaciones propias en **condiciones adecuadas para su uso**.

Sin embargo, no creemos que la responsabilidad de la instalación pueda limitarse al cumplimiento de estas dos funciones ya que, como propietaria del espacio físico donde confluyen las actividades de varias

⁵¹ Disponible en <http://navwaters.com/2011/08/31/mooring-the-respective-duties-and-responsibilities-of-vessel-and-wharfinger/>.

empresas, se convierte, de acuerdo a la Ley Española, en “*empresario titular*”, que le confiere ciertas obligaciones, entre las que cabe citar:

- La realización de una evaluación de riesgos dentro de su centro de trabajo y la toma de acciones que se deriven con el fin de reducir los mismos, de acuerdo con el artículo 16 de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, que cita expresamente que “*el empresario realizará aquellas actividades de prevención incluidas las relacionadas con los métodos de trabajo y de producción que garanticen un mayor nivel de protección de la seguridad y la salud de los trabajadores*”.
- La coordinación de actividades empresariales dentro de su centro de trabajo de acuerdo con el artículo 24 de la misma ley: “*El empresario titular del centro de trabajo adoptará las medidas necesarias para que aquellos otros empresarios que desarrollen actividades en su centro de trabajo reciban la información y las instrucciones adecuadas, en relación con los riesgos existentes en el centro de trabajo y con las medidas de protección y prevención correspondientes, así como sobre las medidas de emergencia a aplicar, para su traslado a sus respectivos trabajadores*”.
- El cumplimiento del deber “*in vigilando*”, tal y como establece el artículo 10 del Real Decreto 171/2004, cuando cita: “*El empresario principal deberá vigilar el cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales por parte de las empresas contratistas o subcontratistas de obras y servicios correspondientes a su propia actividad y que se desarrollen en su propio centro de trabajo*”.
- La obligación, como centro que puede originar una situación de emergencia, de la elaboración de un Plan de Autoprotección donde debe contemplarse el riesgo de exposición, de acuerdo con el R.D. 393/2007, de 23 de marzo, sobre el que profundizaremos en el capítulo 9.

Es indudable, por lo tanto, que la instalación portuaria tendrá una parte de responsabilidad en el caso de ocurrencia de un accidente dentro de sus instalaciones. Ante este escenario, entendemos conveniente el conocimiento de la reglamentación española sobre esta materia así como los mecanismos de control e investigación que han sido desarrollados por el Estado con el fin de disminuir el número y gravedad de los accidentes marítimos.

3.3.1 LEY DE PUERTOS DEL ESTADO Y DE LA MARINA MERCANTE

El Real Decreto Legislativo 2/2011⁵², de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, tiene como base la Ley 27/1992 que define el modelo portuario estatal y de la Marina Mercante actual e insta los principios de autonomía de gestión y autosuficiencia económico-financiera de los puertos de interés general. Ésta ha sido modificada en varias ocasiones:

1. Ley 62/1997, de 26 de diciembre, por la que se incorpora la participación de las Comunidades y Ciudades Autónomas a la gestión de las Autoridades Portuarias.
2. Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general por la que el Estado permite un avance en la liberalización de los servicios portuarios y fomenta la inversión de la iniciativa privada en las instalaciones y equipamientos portuarios.
3. Ley 33/2010, de 5 de agosto, caracterizada por la búsqueda de una mayor flexibilidad del modelo tarifario con el fin de mejorar la competitividad de los puertos de interés general.

La Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante delimita las competencias marítimas del Estado Español reorganizando la Administración Marítima, tanto a nivel central (Ministerio de Fomento) como a nivel periférico (Capitanías Marítimas) para adaptar sus estructuras a aquellas desarrolladas en la mayoría de los países europeos.

Las Capitanías Marítimas, dependientes de la Dirección General de la Marina Mercante y, a su vez, del Ministerio de Fomento, son las encargadas de *“fijar por razones de seguridad marítima los criterios que determinen las maniobras, incluido el atraque, a realizar por buques que porten mercancías peligrosas o presenten condiciones excepcionales”*. También es de su incumbencia la disponibilidad de los servicios de practica y remolque y, en general, de todo aquello *“relativo a la seguridad marítima, salvamento marítimo y lucha contra la contaminación del medio marino en aguas situadas en zonas en las que España ejerza soberanía, derechos soberanos o jurisdicción”* (BOE núm. 253, 2011, p. 109621). Por otro lado, la Administración del Estado asume la gestión de los puertos de su competencia, desarrollándose la misma en el ámbito de cada puerto por la respectiva Autoridad Portuaria⁵³ y

⁵² Disponible en el Anexo 3.4

⁵³ El puerto de Ferrol se encuentra bajo el control de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Ciprián, y está declarado como Puerto de Interés General de acuerdo con el Anexo I de La Ley de Puertos del Estado y Marina Mercante. Las actividades que se desarrollan en el espacio portuario que no requieren obras o instalaciones de ningún tipo están sujetas a previa **Autorización** de la Autoridad Portuaria. Sin embargo, aquellas otras que necesiten obras o instalaciones no desmontables o por plazo mayor de tres años estarán sujetas a la obtención de una **Concesión**, otorgada también por la Autoridad Portuaria, de acuerdo a los criterios técnicos definidos por Puertos del Estado. Como veremos en el capítulo 9, las instalaciones de Navantia en Fene son propiedad de la Autoridad Portuaria y se encuentran gestionadas en régimen de concesión.

correspondiendo la coordinación y el control de eficiencia del sistema portuario a Puertos del Estado, un Organismo de Derecho Público adscrito también al Ministerio de Fomento.

Entre las funciones de la Autoridad Portuaria se encuentra la de “*controlar, en el ámbito portuario, el cumplimiento de los reglamentos de mercancías peligrosas y de seguridad e higiene, así como de los sistemas de seguridad y conraincendios*” (BOE núm. 253, 2011, p. 109486).

Esta dualidad administrativa (Capitanía Marítima y Autoridad Portuaria) complica de forma importante la situación y, en definitiva, favorece la aparición de lagunas en los límites de competencia de ambos organismos públicos.

De acuerdo con la Ley, la Capitanía Marítima actúa de la misma forma que lo haría un Servicio de Prevención de una instalación industrial, ofreciendo asesoramiento técnico y manteniendo en todo momento su disposición para dirigir cualquier situación de emergencia en la mar. Con referencia a las operaciones de amarre y estancia segura en puerto, sus funciones se limitan a determinar las condiciones límite que regulen la entrada y salida en aguas portuarias. Una vez que el buque se encuentre atracado, su situación se convierte en una competencia compartida entre el Capitán y la entidad que opera la instalación portuaria.

Si el buque en cuestión se dispone a realizar operaciones de carga o descarga de mercancías peligrosas, entra en el ámbito de un Reglamento específico que lo regula (R.D. 145/1989)⁵⁴, definiendo en su artículo cuarto, de acuerdo a esta filosofía, que “*compete al Capitán del Puerto (Capitanía Marítima) la admisión de los buques que transportan mercancías peligrosas y al Director del Puerto (Autoridad Portuaria) la admisión de mercancías peligrosas en la zona de servicio del puerto*”

En tal situación, la Administración Española asigna la responsabilidad de la estancia en el muelle básicamente al Capitán, ya que “*debe asegurarse que las amarras al muelle de atraque o boyas son suficientemente seguras, en número y resistencia, teniendo en cuenta el tamaño del buque y las condiciones locales de viento y mar.*” (BOE núm. 37, 1989, p. 4266).

Este Reglamento señala además otras obligaciones, similares a los requerimientos descritos en el apartado anterior, entre las que cabe destacar:

Capitán del buque:

- Disposición de alambres de remolque (“*fire-wires*”)⁵⁵ a proa y popa del buque.
- Máquina propulsora lista para salir de puerto en cualquier momento.

⁵⁴ Disponible en el Anexo 3.4.

⁵⁵ Consiste en la utilización de alambres tendidos por el costado opuesto a la banda de atraque del buque con el fin de hacer posible que los remolcadores tiren del mismo para separarlo del muelle “*to pull the ship away from the pier*” sin necesidad de asistencia de ningún miembro de la tripulación del buque en el caso de que se produzca un fuego o explosión a bordo de carácter grave. Esta disposición será tratada con mayor profundidad en la sección 8.2.3.

- Prohibición de efectuar reparaciones que puedan impedir la condición anterior o contemplen trabajos en caliente⁵⁶, salvo autorización expresa del Capitán del Puerto.

Operador del muelle:

- Asegurar la libertad de acceso de los servicios de emergencia.
- Establecer un protocolo de comunicaciones con el buque y el Centro de Control de Emergencias del Puerto.
- Difundir entre su personal los riesgos que entraña la manipulación de las mercancías peligrosas.
- Acordar un plan de descarga y procedimientos de emergencia con el buque.

En el caso de que las mercancías peligrosas que se manipulen se encuentren catalogadas como hidrocarburos, gases licuados o productos químicos a granel, con anterioridad al comienzo de las operaciones, el Capitán del buque y el operador del muelle han de cumplimentar una lista de comprobación (*check-list*) que servirá como autocontrol del cumplimiento, tanto de las obligaciones mencionadas como de aquellas otras específicas de este tipo de buques, tales como la operación en circuito cerrado del sistema de aire acondicionado de la habilitación, prohibición de fumar o el uso de material intrínsecamente seguro. Una copia de esta lista de comprobación habrá de enviarse al Capitán del Puerto.

Por lo tanto, en el ámbito de las mercancías peligrosas, nos encontraremos en la mayoría de los casos ante una duplicidad de requerimientos y controles operacionales, por tener que satisfacer aquellos procedentes de los organismos citados en el apartado anterior (*OCIMF*, *ISGOTT* y *MTPQ*) al mismo tiempo que se cumplimenta la normativa portuaria.

A modo de ejemplo, en el Anexo 3.7 se muestra el Procedimiento de Operación de buques LNG en la Planta de Regasificación de Sagunto, con el visto bueno del Consejo de Administración del Puerto. En el desarrollo del mismo se definen, en base a estudios náuticos y de riesgos impulsados por la terminal, el número mínimo de largos, traveses y esprines necesario para el amarre, así como los valores máximos de intensidad de viento que darán lugar a la detención de las operaciones, a la desconexión de los brazos de carga o al abandono del muelle.

Observamos que subyace el interés de la Administración Española en favorecer el acuerdo de procedimientos entre la terminal y el buque, sin entrar a valorar técnicamente los mismos. Prueba de

⁵⁶ De acuerdo al procedimiento P-PRL-RF-016 Rv-01 (Permisos de Trabajos con Riesgos Especiales) del Sistema de Gestión de Prevención de Navantia Ría de Ferrol, se entiende por **trabajo en caliente** aquella tarea que, debido a su propia naturaleza, o a las herramientas o materiales utilizados, puede generar focos de ignición de incendios de origen térmico (llamas desnudas, corte de materiales por oxicorte, plasma, láser o discos abrasivos, soldaduras mediante arcos eléctricos o llamas, desbaste con muelas abrasivas, tratamientos térmicos por resistencias, radiación o inducción, etc.).

ello la encontramos en las “Normas de Seguridad de acceso al Puerto de Ferrol para buques LNG”⁵⁷, en el que, tras haberse fijado el número mínimo de cabos de amarre necesario para la estancia en la Planta Regasificadora utilizando los criterios OCIMF, se añade que “*si el sistema de Gestión de la Seguridad del buque establece una configuración de amarre distinta de las arriba mencionadas, podrá ser utilizada previo acuerdo con la terminal*”.

Se aprecia, de esta forma, un bajo nivel de pro-actividad por parte de los organismos portuarios, que se hace más patente fuera del ámbito regulado por el Reglamento de Mercancías Peligrosas. En estos casos, la responsabilidad es compartida entre el Capitán del buque y el usuario de la Concesión o Autorización portuaria, incluyendo la Coordinación de Actividades Empresariales que corresponderá a este último, en calidad de “*titular del centro de trabajo*” (BOE núm. 253, 2011, p. 109507).

Esta apreciación se hace todavía más patente, si cabe, cuando el muelle en cuestión se encuentre en un espacio portuario cuyo uso y explotación no haya sido otorgado en régimen de Concesión o Autorización, es decir, gestionado directamente por la Autoridad Portuaria. En estos casos, “*el consignatario que actúe en representación del armador responderá del cumplimiento de las obligaciones de coordinación durante las maniobras de atraque, desatraque y fondeo del buque, y en general durante la estancia del mismo en el puerto salvo para las operaciones de carga, estiba, desestiba, descarga o transbordo de mercancías o de embarque o desembarque de pasajeros. Si se realizan estas operaciones o las de entrega, recepción, almacenamiento, depósito y transporte horizontal de mercancías en espacios no otorgados en Concesión o Autorización, responderá del cumplimiento de las obligaciones de coordinación la empresa prestadora del servicio correspondiente*” (BOE núm. 253, 2011, pp. 109507 y 109508).

Tal y como se ha indicado en la introducción de este capítulo, la razón de este bajo nivel de pro-actividad creemos que estriba en el hecho de que no se contempla el riesgo de rotura de amarras de un buque en la etapa de elaboración del plan de Emergencia Interior del Puerto⁵⁸, coincidiendo plenamente con el informe de GARD AS, anteriormente citado. Por el contrario, se estima que la necesidad de llevar a cabo esta tarea resulta evidente, especialmente en aquellos buques de tamaño considerable o cuya actividad esté dedicada al transporte de pasajeros.

Como consecuencia de ello, no se han estimulado las acciones encaminadas a mitigar los efectos de tales riesgos, entre las que cabría destacar la elaboración de estudios de resistencia de amarres o los procedimientos que regulen tales operaciones. Si bien es cierto que la ley favorece el cumplimiento con la prevención de riesgos laborales, esta situación depende exclusivamente del compromiso que el buque o la instalación portuaria hayan adquirido en materia de seguridad.

⁵⁷ Es destacable el hecho de que este conjunto de Normas define las condiciones atmosféricas que implican la paralización del trasiego de la carga y la desconexión de los brazos, pero no las de salida del buque a la mar. La razón estriba en que los requerimientos para la navegación por el canal de entrada al Puerto son más restrictivos que los anteriores, imposibilitando, en tales condiciones, abandonar el amarre. El texto íntegro se encuentra disponible en el Anexo 3.7.

⁵⁸ En el capítulo 9 trataremos el Plan de Emergencia Interior con más detalle.

Paradójicamente, la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante establece el régimen de infracciones administrativas en función del daño causado, bien sea éste material o a personas, así como las cuantías de las sanciones correspondientes. La tabla de la figura 3.1 trata de resumir las mismas.

INFRACCIÓN	LESIONES A PERSONAS	DAÑOS MATERIALES	OTROS HECHOS	SANCIONES
LEVE	Sin lesiones	Inferior a 1200 €	Cualquier actuación u omisión que cause daños o menoscabe los bienes del dominio público portuario	Hasta 60 m€
GRAVE	Baja por incapacidad laboral no superior a 7 días	Entre 1200 € y 6000 €	Las acciones u omisiones que pongan en peligro la seguridad del buque o de la navegación, o reincidencia de las anteriores.	Hasta 600 m€
MUY GRAVE	Baja por incapacidad laboral superior a 7 días	Superior a 6000 €	Las acciones u omisiones que pongan en grave peligro la seguridad del buque o de la navegación, o reincidencia de las anteriores.	Hasta 3 M€

Figura 3.1 *Infracciones administrativas en el ámbito de la marina mercante y en el portuario estatal de acuerdo con el R.D.L. 2/2011. Fuente: Autor*

Estas sanciones podrán ser impuestas por la Autoridad Portuaria, en el caso de que la infracción contraviniese alguna norma relativa al uso del puerto y elevarse de acuerdo a su gravedad por su rama jerárquica a través del Ministerio de Fomento hasta el Consejo de Ministros, o bien, si aquella fuese en contra de la seguridad marítima, ordenación del tráfico marítimo o contaminación del medio marino, partiría desde Capitanía Marítima, ascendiendo a la Dirección General de la Marina Mercante, tal y como se intenta representar en la figura 3.2.

INFRACCIÓN	TIPO	COMPETENCIA SANCIONADORA
LEVE	Relativas al uso del puerto y al ejercicio de las actividades que se prestan en él.	Consejo de Administración de la Autoridad Portuaria
LEVE	Infracciones contra la seguridad marítima y contaminación desde buques	Capitán Marítimo
GRAVE	Relativas al uso del puerto y al ejercicio de las actividades que se prestan en él.	Consejo de Administración de la Autoridad Portuaria
GRAVE	Infracciones contra la seguridad marítima y contaminación desde buques	Director general de la Marina Mercante
MUY GRAVE	Relativas al uso del puerto y al ejercicio de las actividades que se prestan en él inferiores a 1,2 M€	Ministro de Fomento
MUY GRAVE	Infracciones contra la seguridad marítima y contaminación desde buques inferiores a 1,2 M€	Director general de la Marina Mercante
MUY GRAVE	Cuantía superior a 1,2 M€	Consejo de Ministros

Figura 3.2 *Competencias para la imposición de las sanciones previstas en el R.D.L. 2/2011. Fuente: Autor*

De acuerdo con el texto de la Ley, cuando la infracción pudiera ser constitutiva de delito o falta, se procederá al traslado de la misma al Ministerio Fiscal.

A título de curiosidad, cabe destacar que las indemnizaciones como consecuencia de los Auxilios, Salvamentos y Remolques que se produzcan en la mar, se siguen determinando en la actualidad por

medio de los organismos que la Armada Española tenía dispuestos para ello en el pasado (Juzgados Marítimos Permanentes y Tribunal Marítimo Central), aunque la Ley de Puertos de 1992, en su artículo 86.6 anuncia que será competencia del Ministerio de Fomento⁵⁹.

A modo de resumen, hemos de indicar que no se observa diferencia alguna entre las obligaciones de una terminal de mercancías peligrosas y aquellas inherentes al usuario de una instalación portuaria convencional. Si bien la peligrosidad intrínseca de los productos que se manejan es menor, se identifica como contrapartida la dificultad que supone la gestión de una mayor variedad de buques (en cuanto a su tamaño, medios de amarre, etc.) y, especialmente, la gravedad de las consecuencias que pudieran derivarse de aquellos casos en los que la instalación se encuentre destinada al embarque y desembarque de pasajeros.

Con el fin confirmar tal hipótesis, recurriremos al estudio de las investigaciones derivadas de accidentes ocurridos en el pasado dirigidas por los organismos oficiales desarrollados a nivel mundial.

3.3.2 LA COMISIÓN PERMANENTE DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES E INCIDENTES MARÍTIMOS

La Comisión Permanente de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos (en adelante, *CLAIM*) es un órgano colegiado adscrito al Ministerio de Fomento del Gobierno de España que nace como fruto de las directivas siguientes:

- Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del mar de 1982 (artículo 94) que insta a los Estados a investigar cualquier accidente marítimo o cualquier incidente de navegación en alta mar en el que se haya visto implicado un buque que enarbole su pabellón.
- La regla 21 del capítulo I del anexo del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS, 1974/1978) obligando a las administraciones de los gobiernos contratantes a investigar todo accidente sufrido por cualquier buque con derecho a enarbolar su pabellón y sujeto a las disposiciones del propio convenio, siempre que dicha investigación pueda contribuir a la introducción de cambios en las reglas que en el mismo se contienen.
- La Directiva 1999/35/CE del Consejo, de 29 de abril de 1999, sobre el régimen de reconocimientos obligatorios para garantizar la seguridad en la explotación de servicios regulares de transbordadores de carga rodada y naves de pasaje de gran velocidad (incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 1907/2000, de 24 de noviembre) obliga a los Estados miembros a adoptar las disposiciones que les permitan, a ellos y a otros

⁵⁹ La Disposición Transitoria 10ª de esta Ley dispone que, entretanto se reglamenta la distribución de competencias entre los Ministerios de Defensa y de Fomento, estas funciones seguirán siendo ejercidas de acuerdo a lo previsto en la Ley 60/62. Existen 11 Juzgados Marítimos Permanentes en España, de los cuales el número 6 tiene su base en Ferrol. Si este juez, que es un jefe u oficial del cuerpo jurídico militar, no pudiese alcanzar un acuerdo entre las partes, elevará el expediente al Tribunal Marítimo Central, situado en Madrid y presidido por un Almirante de la Armada.

Estados miembros que tengan interés significativo, a participar, colaborar o realizar la investigación sobre accidentes e incidentes marítimos en que se haya visto envuelto un transbordador de carga rodada o una nave de gran velocidad.

- La Directiva 2009/18/CE de 23 de abril de 2009, por la que se establecen los principios fundamentales que rigen la investigación de accidentes en el sector del transporte marítimo, a la vez que determinan las obligaciones de los estados miembros de la UE sobre investigación de accidentes marítimos. Esta Directiva entró en vigor el 17 de junio de 2011.

Las funciones encomendadas a la *CIAIM* se encuentran reguladas por el Artículo 265 del Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante y por el Real Decreto 800/2011⁶⁰ y pueden resumirse en la realización de las investigaciones e informes técnicos de todos los accidentes marítimos muy graves⁶¹ que afecten a buques civiles que enarbolan el pabellón español, cuando éstos se hayan producido en el mar territorial o las aguas interiores de España o cuando afecten a intereses de consideración de España, con el fin de determinar las **causas técnicas** que los produjeron y formular **recomendaciones** al objeto de tomar las medidas necesarias para evitarlos en el futuro, así como aquellas otras situaciones derivadas de incidentes⁶² marítimos en donde se puedan obtener enseñanzas para la seguridad marítima y prevención de la contaminación marina procedente de buques.

La *CIAIM* está estructurada en dos órganos bien diferenciados: El Pleno y la Secretaría.

El Pleno de la Comisión es el encargado de validar la calificación de los accidentes o incidentes y de aprobar los informes y recomendaciones elaborados al finalizar una investigación técnica. Está compuesto por:

- El Presidente, nombrado por el Ministro de Fomento.
- Seis Vocales, designados por el titular del Ministerio de Fomento, una vez escuchadas las propuestas de los organismos y asociaciones profesionales del sector, entre personas de reconocido prestigio y competencia profesional en el sector marítimo en las especialidades de la marina mercante, la ingeniería naval, las actividades náutico-pesqueras, el medio marino, las infraestructuras relacionadas con el medio marino, la meteorología, la docencia y la investigación.
- El Secretario, nombrado por el Ministro de Fomento entre funcionarios del grupo A1.

⁶⁰ Disponible en el Anexo 3.4

⁶¹ El accidente tendrá consideración de “*muy grave*” cuando entrañe la pérdida total de un buque, la pérdida de vidas humanas o daños graves al Medio Ambiente. La *CIAIM* tiene obligación de investigar la totalidad de los accidentes “*muy graves*” así como todos aquellos accidentes o incidentes en los que se encuentre implicado un transbordador de carga rodada o una nave de pasaje de gran velocidad. Ante un caso de accidente catalogado como “*grave*”, se realizará una evaluación previa para decidir si procede o no realizar una investigación de seguridad marítima.

⁶² En el artículo 3 del Real Decreto 800/2011 se define “*incidente marítimo*” como un acaecimiento, o serie de acaecimientos, distinto de un accidente marítimo (con víctimas o daños materiales graves), que haya ocurrido habiendo una relación directa con las operaciones de un buque, que haya puesto en peligro o que, de no ser corregido, pondría en peligro la seguridad del buque, la de sus ocupantes o la de cualquier otra persona, o la del Medio Ambiente.

- El Pleno de la Comisión, en su sesión constituyente y a propuesta del presidente, designará un vicepresidente de entre los vocales.

La Secretaría depende del Secretario del Pleno de la Comisión y lleva a cabo los trabajos de investigación y la elaboración del informe correspondiente que se estudiará y aprobará en el seno del Pleno. Aparte del Secretario, forman parte de la Secretaría, el equipo de investigación integrado por funcionarios de carrera de la Administración General del Estado y el personal administrativo y técnico adscrito a la misma.

Los resultados de la investigación se plasman en un informe que contempla la información factual en relación con el accidente o incidente, un análisis de la misma, unas conclusiones y unas recomendaciones en materia de seguridad, que será publicado en formato electrónico y puesto a disposición del público en la página web de la Comisión (<http://www.ciaim.es>).

Las citadas recomendaciones constituyen el medio que se considera más adecuado para proponer medidas que permitan aumentar la seguridad marítima.

La *CLAIM*, que goza de plena independencia funcional respecto de las autoridades marítimas, portuarias, de costas o de cualquier otra cuyos intereses pudieran entrar en conflicto con sus competencias, no persigue la determinación de responsabilidad ni la atribución de culpa. Sin embargo, los informes emitidos tienen un indudable valor técnico que pudieran ser decisivos en el resultado de procesos judiciales de cualquier índole.

3.4 INVESTIGACIONES DE ACCIDENTES: LECCIONES APRENDIDAS

De manera simultánea al nacimiento de la *CLAIM* en España, se han desarrollado estructuras similares en la mayoría de los países, fruto de los convenios internacionales citados anteriormente. La figura 3.3 muestra algunas de las Comisiones mundiales más relevantes.

En el caso concreto de Europa, los informes emitidos se han de elaborar bajo una estructura estandarizada para su notificación a una comisión central con el fin de formar parte de una gran base de datos (*European Marine Casualty Information Platform*).

Es necesario decir que el valor de las recomendaciones emitidas es diferente en función del país de emisión. Así, el *Marine Accident Investigation Branch* (en adelante, *MAIB*) del gobierno británico publica el informe correspondiente esperando una respuesta de los destinatarios de las recomendaciones definidas para confirmar que serán implementadas en el futuro. Los comentarios recibidos de las partes afectadas, si los hubiese, se dan a conocer al público a través del informe anual entregado a la Secretaría de Estado. Esta realimentación le confiere a la Comisión una mayor autoridad.

ACRÓNIMO	DENOMINACIÓN	PAÍS
ATSB	<i>Australian Transport Safety Bureau</i>	Australia
BEAmer	<i>Bureau d'enquêtes sur les événements de mer</i>	Francia
BSU	<i>Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung</i>	Alemania
CIAIM	Comisión permanente de Investigación de Accidentes Marítimos	España
DMAIB	<i>Danish Maritime Accident Investigation Board</i>	Dinamarca
MAIB	<i>Marine Accident Investigation Branch</i>	U.K.
OMS	<i>Office of Marine Safety</i>	U.S.A.
TAIC	<i>Transport Accident Investigation Commission</i>	Nueva Zelanda
TRAFI	<i>Finnish Transport Safety Agency</i>	Finlandia
TSBC	<i>Transportation Safety Board of Canada</i>	Canadá

Figura 3.3 Denominación de las Comisiones de Investigación de Accidentes de varios países. Fuente: Autor

La obligación del conocimiento público de las investigaciones realizadas por las Comisiones de cada uno de los países facilita una valiosa fuente de información que permite la realización de análisis más objetivos. De esta gran base de datos hemos seleccionado un total de diez informes de accidentes relacionados con problemas en el amarre, ya sea en sus maniobras o durante su estancia en puerto, que, a nuestro juicio, permitirán aclarar alguna de las lagunas legislativas.

3.4.1 ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES

En un primer acercamiento, intentaremos sintetizar el contenido de estos informes⁶³, extrayendo de cada uno de ellos los aspectos siguientes:

1. Las **causas** que provocaron el accidente con el fin de que sirvan de aplicación como **lecciones aprendidas** en la evaluación de riesgos de nuestros buques.
2. Las **recomendaciones** dirigidas hacia los propietarios de la **instalación terrestre** para definir en lo posible sus responsabilidades en el amarre y estancia segura del buque en puerto.

Alfa Britannia

Durante la maniobra de amarre de este petrolero de 99280 TPM en una terminal de crudo de Shell situada en el río Mersey (costa Oeste de Inglaterra), en el mes de noviembre de 1999, se produce la rotura del calabrote de un través que impacta en varios miembros de la tripulación de un bote de auxilio que estaba siendo utilizado para dar los cabos, causándoles importantes heridas.

⁶³ El Anexo 3.5 contiene los informes íntegros en formato .pdf.

La investigación de *MAIB* concluyó que las siguientes causas fueron el motivo desencadenante del accidente:

- Fallo de comunicación entre el práctico y los oficiales del buque (mientras que aquel ordenaba dar dos traveses de popa, se interpretó que solamente había que dar uno, con lo que el cabo recibió el doble de tensión prevista).
- No existía una disposición de amarre previa.
- El freno de la maquinilla de la que partía el cabo no arrió al 60% del *MBL* de éste.

La única recomendación relevante dirigida a la terminal ha sido la siguiente: Desarrollar procedimientos y disposiciones específicas de amarre con el fin de ser enviadas al buque antes de su llegada.

Dublin Vicking

El 7 de agosto de 2007, el buque mixto de carga rodada y pasaje, *Dublin Viking*, sufre un accidente durante la maniobra de salida del muelle no. 52 del puerto de Dublín debido a la rotura de un cabo de popa, con el resultado del fallecimiento del segundo oficial de cubierta unos días más tarde, como consecuencia del golpe recibido.

La investigación consiguiente, llevada a cabo por *MAIB*, identifica, entre otras, las causas siguientes:

- Los mandos de la maquinilla que trabajaba con el cabo en cuestión operaban en sentido contrario al convencional, además de no indicar la dirección de rotación, propiciando, de esta manera, que el marinero que la manejaba virase el cabo cuando su intención era largarlo.
- La capacidad de virado de la maquinilla era mayor que la estipulada⁶⁴.
- Algunos de los cabos se encontraban deteriorados debido a su exposición a los rayos ultravioleta por estibarse durante largos periodos en cubierta.
- El cabo del buque que faltó, fabricado en polipropileno y afectado por fatiga, se encontraba sujeto a una estacha de *HMPE*, afirmada al noray correspondiente a través de una cadena (estos dos últimos elementos eran propiedad de la instalación de tierra), dando como resultado un sistema muy rígido en comparación con el resto de las amarras del buque.

Recomendación a la terminal: Asegurarse de la compatibilidad de cualquier cabo suministrado desde tierra con el sistema de amarre propio del buque.

⁶⁴ Según explicamos en la sección 2.5, la capacidad de virado de una maquinilla con una sola capa del cabo en su tambor, no debe de exceder del 33% del *MBL* del cabo de amarre.

Northern Faith

Informe de la investigación del Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung alemán (en adelante, *BSU*) acerca del accidente ocurrido el 4 de julio de 2007 a bordo del portacontenedores *Northern Faith*, de bandera alemana, en el puerto de Koper (Eslovenia) por cuyo motivo el segundo oficial de cubierta perdió su brazo derecho.

El buque se vio sorprendido por el Bora, un viento frío y muy fuerte característico de aquella zona, que llegó a alcanzar velocidades de 80 km/h aquella madrugada, provocando la rotura de un cabo de popa que alcanzó al segundo oficial y que hizo que faltaran sucesivamente el resto de las amarras de esta zona. Como consecuencia de ello, el buque se posicionó transversalmente al muelle sujeto solamente por su proa. Los remolcadores, que se encontraban en *stand-by* por la alerta meteorológica, lograron que el *Northern Faith* pudiera atracar sobre el costado contrario.

Las causas determinadas en este extenso informe que incluye un estudio de *Optimoor*⁶⁵ del amarre y pruebas de laboratorio de la primera amarra rota, han sido las siguientes:

- El primer cabo que rompió provocó que el resto faltasen sucesivamente⁶⁶. Las pruebas realizadas sobre el mismo revelaron que probablemente se encontrase deteriorado antes del accidente.
- Las autoridades portuarias conocían la existencia de la alerta meteorológica. Sin embargo, la tripulación no estaba enterada y, por lo tanto, no tuvo opción a considerar el reforzado del amarre.
- La estancia del buque en puerto estaba siendo aprovechada para realizar mantenimiento a bordo, por lo que ni el motor principal ni la hélice transversal de proa se encontraban disponibles.
- La disposición del amarre utilizaba varios cabos de distintos materiales de fabricación, trabajando en la misma dirección, lo que impedía un reparto homogéneo de cargas.

Curiosamente, no existe ninguna recomendación dirigida a las Autoridades Portuarias. Llegado al punto de la difusión de la alerta, cita “*los mandos del buque se informarán regularmente de las condiciones ambientales tales como el viento y corriente*”.

Si tenemos en cuenta que el informe ha sido realizado por el Comité del país donde se encuentra abanderado el buque sobre un accidente ocurrido en un puerto extranjero (Eslovenia), entendemos la reticencia por parte del *BSU* de promover recomendaciones que pudieran afectar a la Administración de éste.

⁶⁵ *Optimoor* es un software especializado para el cálculo de amarre, del que hablaremos con mayor profundidad en el capítulo 5.

⁶⁶ Se llega a esta conclusión tras realizar la simulación dinámica del amarre con *Optimoor* considerando cuatro escenarios diferentes.

Terminal de Kulebi

Un petrolero de tamaño *Aframax*⁶⁷ rompe de forma sucesiva seis de los cabos de amarre que lo sujetaban contra el muelle el 18 de diciembre de 2010, en una terminal de descarga de crudo en Georgia (Mar Negro), por la acción del viento de más de 90 km/h y olas que llegaron a alcanzar una altura de cinco metros.

Destaca el informe que la causa principal del accidente fue que el muelle era inapropiado para este tipo de buques debido a su corta longitud, a la falta de puntos de amarre para disponer los traveses y su exposición al oleaje. El tamaño de los remolcadores disponibles en el puerto se considera también insuficiente para hacer frente a una emergencia.

La alerta meteorológica se transmitió a bordo con antelación suficiente como para tomar acción reforzando la disposición del amarre inicial con un largo de proa y otro de popa. Cuando el viento comenzó a arreciar, se interrumpió la descarga y desconectaron los brazos.

Las recomendaciones dirigidas a la terminal se enfocan hacia la mejora de los medios:

- Estudio de viabilidad de la construcción de un rompeolas
- Montaje de nuevos puntos de amarre
- Sustitución de los remolcadores por otros de mayor capacidad
- Ajustar el tamaño de las defensas del muelle para reducir los efectos del oleaje.

Mar Victoria

El 09 de octubre de 2008, durante la descarga de este buque tanque de 105 metros de eslora en la refinería de Cepsa en Algeciras, la velocidad del viento sobrepasa el nivel establecido en los procedimientos para detener las operaciones y ordenar la desconexión de la manguera (65 km/h). Sin embargo, debido al poco tiempo que restaba para finalizar la descarga, de común acuerdo entre el capitán y la terminal, deciden continuar la misma a la vez de solicitar el auxilio de un remolcador para asegurar que el buque no se separe del muelle.

Un golpe de mar hace que se tome la decisión de parar y cerrar las válvulas tanto a bordo como en tierra.

Un segundo golpe separa el barco del muelle y rompe la manguera, vertiéndose 450 litros de fueloil al mar.

Las predicciones meteorológicas de viento y fuerte marejada eran conocidas por ambas partes.

⁶⁷ *Aframax* es un petrolero de tamaño medio comprendido entre 80000 y 120000 dwt. Este término se deriva su nombre de *AFRA* (*Average Freight Rate Assessment*). El sistema *AFRA* fue creado en 1954 por la *Shell Oil* con el fin de estandarizar términos del contrato de transporte marítimo de crudo.

El informe realizado por la *CIAIM* dirige sus recomendaciones hacia la necesidad de respetar los procedimientos establecidos por ambas partes e insta a la refinería a la revisión de los límites de operación en función de la velocidad de viento, de acuerdo con las normas ROM⁶⁸.

MSC Fantasía

Informe de la *CIAIM* con motivo del accidente ocurrido el 5 de marzo de 2009 durante su primera escala en Palma de Mallorca con casi 4000 pasajeros y 1300 tripulantes a bordo. El crucero, de 333 metros de eslora, se encontraba atracado en el muelle de Poniente Sur cuando una racha de viento de poco más de 60 km/h separó su proa del muelle, provocando la rotura de varios norayes⁶⁹.

El buque continuó alejándose de tierra y las cuatro pasarelas que lo conectaban con la Estación Marítima terminaron en el agua. En una de ellas se encontraba un pasajero egipcio de 80 años que sufrió un golpe en la cabeza y cayó al mar. Cuatro tripulantes del crucero se lanzaron a rescatarlo, tras lo que el hombre fue hospitalizado en una clínica de Palma, mientras que sus rescatadores tuvieron que ser atendidos por hipotermia.



Figura 3.4 Imagen de los norayes rotos en el muelle de Poniente Sur del puerto de Palma de Mallorca. Fuente: Informe técnico A-17/2011 de CIAIM

La rápida actuación de la tripulación, en situación de *stand-by* debido a la alerta naranja por viento recibida previamente, evitó que el buque se quedase sin control. El arriado del ancla de babor y la puesta

⁶⁸ Las normas ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas) son un compendio de métodos de cálculo y reglas a seguir para el diseño de obras portuarias, editadas por Puertos del Estado. Las utilizaremos en el capítulo 6 para la comprobación del sistema de defensas de los muelles.

⁶⁹ En el Anexo 3.6 pueden encontrarse dos archivos de vídeo tomados por testigos presenciales desde un muelle cercano al del accidente.

en marcha de las hélices transversales de proa⁷⁰ pudieron controlar su abatimiento, en espera de la llegada de los remolcadores que le escoltaron hasta su posterior atraque en el muelle del Dique del Oeste.

El informe identifica las causas siguientes:

- Insuficientes medios de amarre del muelle: Los puntos de amarre del muelle presentaban dos deficiencias importantes:
 1. Muy baja resistencia: El mayor de los norayes poseía una *SWL* de 80 toneladas y la mayoría de los restantes, 30 toneladas, cuando el *MBL* de los cabos del buque alcanzaba las 109 toneladas.
 2. Disposición inadecuada: La totalidad de los norayes están situados sobre el cantil del muelle con objeto de permitir el desplazamiento de las pasarelas de acceso sobre los raíles que discurren en toda su longitud. De esta manera, los traveses resultaban cortos y con un ángulo muy elevado sobre la horizontal.
- No se tomó ninguna medida de contingencia para asegurar la vigilancia y desconexión de las pasarelas de acceso.
- Ausencia de cálculo previo de amarre: El Capitán no tenía información de las características del muelle antes de la maniobra. Él mismo decidió la disposición de amarre y ni el Práctico, ni la Autoridad Portuaria, ni la Capitanía Marítima evaluaron el riesgo adecuadamente, aunque presentaba errores evidentes, tales como tres cabos encapillados al mismo noray. Asimismo, ninguno de ellos estimó necesaria acción alguna ante el aviso de temporal.

Destacamos la importancia de este último punto ya que la realización del cálculo mencionado hubiera detectado los problemas de compatibilidad con el muelle al tener en cuenta las fuerzas generadas por el viento de la intensidad anunciada por la alerta meteorológica.

Por otro lado, se subrayan incumplimientos importantes en el informe de *CLAIM* en cuanto a la respuesta ante la emergencia (el servicio de practicaje no respondió hasta transcurridos 15 minutos de la llamada del buque ni se disponía de Plan de Autoprotección portuario).

Las recomendaciones efectuadas tras la investigación se dirigen todas ellas, de forma contraria al caso comentado a bordo del *Northern Faith*, hacia las personas con responsabilidades en la instalación terrestre:

- Prácticos del Puerto:

⁷⁰ El buque dispone de un total de cinco hélices transversales (tres en proa y dos en popa), de 3100 Kw cada una, que le permiten realizar las maniobras de atraque y desatraque sin necesidad de ser ayudado por remolcadores.

- *“Comunicar a la Autoridad Portuaria y Capitanía Marítima las condiciones meteorológicas que resulten potencialmente peligrosas y pudieran afectar a la seguridad marítima de los buques durante las maniobras de entrada y salida del puerto o de aquellos que se encuentren atracados en el mismo”.*
- *“Responder inmediatamente a las llamadas de emergencia de los buques”.*
- Autoridad Portuaria:
 - *“Establecer procedimientos que aseguren que se tienen en cuenta las características de los buques, la configuración de los atraques y las predicciones meteorológicas antes de proceder a la asignación de los puestos de amarre”.*
 - *“Proporcionar a los capitanes de los buques que tengan previsto hacer escala en el puerto la información necesaria sobre las características del mismo y del muelle asignado para que puedan planificar la maniobra de atraque con suficiente antelación”*
 - *“Disponer de medios seguros de embarque y desembarque del pasaje que permitan la desconexión automática de la pasarela en caso de un desplazamiento inesperado del buque”.*
 - *“Dotar al Centro de Control de Emergencias de los recursos apropiados para efectuar las labores de coordinación de las operaciones necesarias y de instalaciones de comunicación adecuadas que garanticen el enlace permanente con los capitanes de los buques, la dirección del puerto, la capitanía marítima, el servicio de practica y los demás prestadores de servicios portuarios, y demás autoridades competentes en materia de protección civil y asistencia sanitaria”.*
 - *“Elaborar un Plan de Autoprotección, que sea visado y registrado, en cumplimiento de lo dispuesto en los artículos 12 y 16 del Decreto 8/2004, de 23 de enero”.*
- Capitán Marítimo:
 - *“Cuando se tenga conocimiento de predicciones meteorológicas que puedan afectar de forma excepcional a la seguridad marítima de los buques atracados o que permanezcan en el fondeadero del puerto, se han de tomar las medidas y establecer los criterios necesarios que determinen las maniobras y las condiciones del atraque o del fondeo de dichos buques”.*

Como consecuencia del suceso, tenemos constancia de que la Autoridad Portuaria tomó las acciones oportunas. Entre ellas, es destacable la modificación realizada en los puntos de amarre consistente en la

instalación de una nueva serie de norayes de 200 toneladas de carga de tiro nominal que ocasionó un gasto cercano a los 600 m€⁷¹.

Keystone Canyon

El *OMS* publica un informe del accidente ocurrido el 26 de octubre de 1994 al petrolero de bandera americana de 124500 TPM en el muelle 1 de Astoria (Oregón) mientras el *Coast Guard* realizaba una inspección a bordo con el fin de renovar sus Certificados.

El reducido calado del buque, ajustado así para facilitar el acceso a los tanques, contribuyó a que una racha de viento provocase la rotura de todos sus cabos, su marcha a la deriva y posterior colisión contra un puente cercano.

Las causas determinadas tras la investigación fueron las siguientes:

- Las condiciones meteorológicas no fueron monitorizadas a pesar de que existía una alerta del Servicio Nacional de Meteorología con previsión de vientos de 130 km/h.
- El muelle, debido a su corta longitud con respecto a la eslora del buque, no permitía una disposición de amarre segura.
- Se detectaron cabos de distintos materiales de fabricación trabajando en la misma dirección.
- El número de miembros de la tripulación designado para atender las amarras se estimó que no era suficiente.
- No se consideró como medida preventiva la interrupción de las inspecciones de los tanques y el lastrado del barco a continuación con el fin de reducir su francobordo.

Las recomendaciones dirigidas a las Autoridades Portuarias se centran en dos aspectos:

1. La necesidad de evaluar la capacidad de sus muelles ante condiciones meteorológicas adversas.
2. Desarrollar procedimientos para que el oficial de guardia del buque tenga conocimiento de las alertas meteorológicas emitidas.

Logos II

Este buque de pasaje sufre dos accidentes en el puerto de St. Helier (Jersey) en junio de 2007. En el primero de ellos, durante la maniobra de atraque, colisiona contra una grúa del puerto y con dos buques

⁷¹ Puede consultarse en el Anexo 3.6 la memoria valorada para la instalación de bolardos en los muelles de Poniente.

que se encontraban amarrados en el mismo muelle. En el segundo, cuando procedía a su salida, tras la rotura del cabo de remolque de proa, impacta contra el coronamiento del atraque.

Entre las causas más significativas identificadas por *MAIB* se encuentran:

- Muy alta velocidad de aproximación.
- Posicionamiento inadecuado de los remolcadores.
- Mala comunicación entre práctico y remolcadores.
- Alta velocidad del viento en el momento del accidente.
- Utilización de un cabo de baja capacidad de carga como remolque.
- Ausencia de análisis de riesgos y procedimientos que sirvan de guía para las maniobras.
- Falta de formación de los prácticos del Puerto.

Es de resaltar el carácter ejemplarizante del informe cuando asegura la falta de pro-actividad de las actuaciones de la Autoridad Portuaria y dirige hacia ella las siguientes recomendaciones:

1. Realizar las evaluaciones de riesgos y procedimientos, así como establecer las necesidades de formación con el fin de mejorar la seguridad en las maniobras y estancia de los buques en puerto.
2. Analizar, junto con el Departamento de Desarrollo Económico del Estado, los medios de amarre y organización del puerto con el fin de comprobar si cumple con el Código de Seguridad de Puertos y realizar un seguimiento periódico a través de una auditoría independiente.

Creciente

Investigación del *ATSB* en septiembre de 2006 de la rotura de amarras de un *bulkcarrier* de 270 metros de eslora y 152000 *TPM* en Port Hedland (Australia), que se produce como consecuencia de la intensidad de la corriente (mayor de 1,3 m/s) generada por la gran diferencia de altura de mareas (alrededor de 7 metros). El buque queda a la deriva y vara en la orilla contraria del canal donde se encuentra la terminal de carga de mineral de hierro.

El equipo de investigación identifica las causas siguientes:

- Reducida capacidad de frenado de las maquinillas que resulta de la contribución de los factores siguientes:
 - Los carretes de las maquinillas no están divididos y un importante número de vueltas permanecía en su estiba.
 - Mantenimiento deficiente de las bandas de freno (corrosión en las bandas y articulaciones bloqueadas).

- Tensión reducida en los husillos de apriete de las bandas de freno.
- Insuficientes tripulantes designados para atender las amarras.

Las recomendaciones emitidas se dirigen en dos sentidos:

1. Hacia las Autoridades Portuarias, que han de corregir el plan de emergencia con el fin de contemplar el riesgo de la rotura de amarras de un buque en sus muelles.
2. Hacia la Sociedad de Clasificación del buque (*Lloyd's*), denunciando que no contempla en sus reglas las guías necesarias que aseguren el mantenimiento adecuado de los frenos de las maquinillas.

Arco Texas

El 27 de junio de 1999, este petrolero de 90000 *TPM*, abanderado en los Estados Unidos, se ve sorprendido por la conjunción de vientos de 30 km/h y una intensidad de corriente debida a la marea mayor de 1 m/s, durante las operaciones de descarga en la terminal de crudo de la refinería de Ferndale (Washington).

Como consecuencia de ello, el buque se abre de popa y provoca la rotura de la pasarela de acceso a bordo y de los dos brazos de carga, propiciando el vertido al mar más de 1000 litros de crudo. Inmediatamente se detiene la descarga y dos remolcadores le asisten para llevarlo al fondeadero.

El equipo de investigación del Departamento de Ecología del Estado de Washington determinó las causas siguientes:

- Frenos de las maquinillas en deficiente estado de mantenimiento. No se encontraron registro de haber realizado las pruebas de frenado reglamentadas por la *OCIMF*.
- El cálculo de la disposición de amarre realizado por la terminal contempla como dato una velocidad de corriente inferior (0,5 m/s).

Las recomendaciones finales se dirigen tanto hacia los armadores como hacia los propietarios de las terminales. De estas últimas, cabe destacar:

1. Revisar que los planes de amarre de los buques están correctamente calculados y que se tienen en cuenta las condiciones particulares del muelle.
2. Disponer de los medios adecuados para la monitorización de los fenómenos meteorológicos e informar al buque en consecuencia.

3.4.2 LECCIONES APRENDIDAS

Como hemos podido deducir de las síntesis de los informes estudiados, en ningún caso la causa del accidente ha sido única, sino que éste se ha producido por la conjunción de varios factores, que, a la vista de los resultados obtenidos, podemos estructurarlos en tres categorías:

- Aquellos que dependen exclusivamente del **buque y su tripulación**, tales como defectos en las maquinillas de amarre, uso de cabos deteriorados o la falta de atención a las amarras ante los cambios de marea.
- Los factores que involucran a ambas partes (**buque y muelle**), tales como la falta de estudio de la disposición de amarre y mala comunicación entre ambos.
- Cuando se ha detectado que la **instalación portuaria** no podía garantizar los medios necesarios para la estancia segura del buque.

La tabla de la figura 3.5 recopila las causas, clasificadas en las categorías establecidas, de tal forma que las columnas (1) a (3) corresponden a un incumplimiento de las funciones del buque, la columna (6) a la instalación portuaria y las (4) y (5) a ambas.

BUQUE	TIPO	LUGAR	FECHA	CAUSAS DEL ACCIDENTE					
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ALFA BRITANNIA	PETROLERO	Liverpool (UK)	18/11/1999	X			X	X	
DUBLIN VIKING	RO-RO + PASAJE	Dublín (Irlanda)	07/08/2007	X	X		X		
NORTHERN FAITH	PORTACONTENEDOR	Koper (Eslovenia)	04/07/2007		X		X	X	
Petrolero tipo Aframax	PETROLERO	Kulevi (Georgia)	18/12/2010				X		X
MAR VICTORIA	PETROLERO	Algeciras (España)	10/10/2008				X		
MSC FANTASÍA	CRUCERO	Palma Mallorca (España)	05/03/2009				X	X	X
KEYSTONE CANYON	PETROLERO	Astoria (Oregón)	24/10/1994			X	X	X	X
LOGOS II	PASAJE	St. Helier (Jersey)	20/07/2007				X	X	
CRECIENTE	BULK-CARRIER	Port Hedland (Australia)	12/09/2006	X		X			
ARCO TEXAS	PETROLERO	Ferndale (Washington)	27/06/1999	X		X	X	X	

(1) Defectos en las maquinillas y/o tambores de frenado

(2) Cabos de amarre en mal estado

(3) Falta de atención a los cabos

(4) Disposición de amarre sin estudio previo

(5) Mala comunicación con el puerto / terminal

(6) Instalación portuaria inadecuada

Figura 3.5 Tabla de análisis de las causas de accidentes en relación con el amarre. Fuente: Autor

Si distribuimos estos factores en términos de porcentaje (figura 3.6), observaremos fácilmente que el problema principal se encuentra en aquellas tareas en las que se requiere la actuación de ambas partes y, por lo tanto, se hace necesaria la mutua cooperación, que, como veíamos en la sección 3.2, es el objetivo principal de las publicaciones de *ISGOTT*.

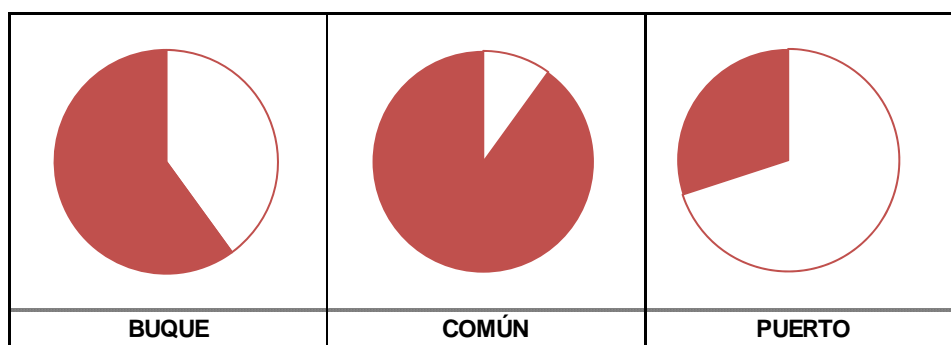


Figura 3.6 Distribución en porcentaje de las causas de los accidentes. Fuente: Autor

Del análisis del conjunto de las recomendaciones efectuadas hacia la instalación terrestre, podemos extraer una serie de obligaciones que desde el punto de vista de las Comisiones de Investigación claramente amplían aquellas definidas al principio de esta sección (informar al Capitán de aquellos peligros que no sean evidentes y mantener las instalaciones propias en condiciones adecuadas para su uso):

- Estudio, previa a la llegada del buque, de la disposición de amarre que asegure su compatibilidad con el muelle designado. Aunque no parece claro quién de las dos partes tiene obligación de realizarlo, ambas tienen la responsabilidad de comprobar su existencia, así como que se ha tenido en cuenta la posible utilización de cabos de diferentes materiales de fabricación.
- En función de este estudio, la instalación portuaria tiene la obligación de establecer los límites de operación y estancia en el muelle de acuerdo con las condiciones meteorológicas⁷². En muchos casos, especialmente en aquellos muelles que han sido diseñados para albergar buques de menor porte, obligará a evaluar la necesidad de mejora de los medios de amarre.
- La evaluación de riesgos de la instalación portuaria ha de contemplar la posibilidad de la rotura de amarras del buque. Asimismo, se tendrá previsto un plan de Autoprotección del que se derivará la disposición de un centro de control de emergencias debidamente dotado y atendido las 24 horas.
- Se han de establecer procedimientos que aseguren que la comunicación de una alerta meteorológica sea recibida en el buque de forma efectiva además de evaluar la necesidad de monitorizar de manera continua aquellos fenómenos meteorológicos que, con mayor probabilidad, pudieran generar una situación de emergencia.

⁷² A modo de ejemplo, podemos encontrar en el Anexo 3.7 el Plan de Emergencia del Puerto de Charleston (USA) para actuación contra huracanes, que, además de establecer los canales de comunicación, fija las fuentes oficiales de previsión meteorológica y los niveles de alerta. Asimismo, obliga a la dirección de la Autoridad Portuaria a revisar las disposiciones de amarre de los buques que se encuentren en su ámbito durante el periodo de alerta y a establecer las acciones oportunas para mitigar los riesgos.

De todo ello, podemos concluir que una instalación portuaria dedicada a la carga o recepción de **mercancías no peligrosas** habrá de dirigir sus procedimientos y actuaciones con el fin de cumplir, básicamente, con las mismas obligaciones que una terminal petrolífera, aunque éstas no se encuentren desarrolladas por ningún reglamento oficial específico.

3.5 EL BUQUE DURANTE LA REPARACIÓN

Aunque en principio pudiéramos considerar que el escenario expuesto de la estancia de un buque en una terminal de carga/descarga es asimilable a cuando éste se encuentra en un Astillero de Reparación, existen dos factores que, a la vez de materializarse con frecuencia, lo modifican profundamente.

El primero de ellos se presenta cuando la reparación o mantenimiento de los diferentes sistemas del buque imposibilita su salida a la mar y, por lo tanto, aquellas condiciones límite establecidas a partir de las que el buque debería de abandonar el muelle dejan de ser aplicables.

El segundo de los factores tiene lugar cuando la reparación afecta a la operatividad de su sistema de amarre, que puede venir dado por actuaciones tan frecuentes como:

- El mantenimiento o reparación de maquinillas de amarre, tales como el reacondicionamiento de ejes y cojinetes, la reparación de embragues, trabajos en los carretes para reformar su división, chicoteado de alambres y/o montaje de casquillos para rehacer las gazas de amarre⁷³, revisión de sus máquinas de accionamiento, tanto eléctricos como hidráulicos o de vapor, etc.
- El mantenimiento en diversos equipos auxiliares del buque que impidan la operatividad de sus generadores auxiliares. En estas circunstancias, el buque se encuentra alimentado eléctricamente desde el muelle, lo que da lugar a que el servicio hidráulico / eléctrico que proporciona potencia a las maquinillas de amarre pudiera encontrarse anulado o restringido debido a las limitaciones de intensidad de su cuadro de conexión con tierra.
- En el caso de que las maquinillas fuesen accionadas por vapor (frecuente en los LNG's de cierta edad), no se dispondrá de la energía habitual para su operación hasta los últimos días de reparación. Para permitir su movimiento, el Astillero monta líneas neumáticas desde el muelle que se conexionan a las de vapor del buque.

El hecho de que el Capitán del buque disponga de unos medios que en ciertos casos se encuentran limitados y, en otros, totalmente dependientes del Astillero, desplazará la línea que define hasta donde llegan sus obligaciones de aquellas correspondientes a la instalación de tierra, modificando, en consecuencia, sus respectivas responsabilidades. El problema se presenta en la definición de esta “*interface*” que delimita ambas actuaciones.

⁷³ La situación contemplada, en la que el buque podría quedar particularmente desprotegido ante condiciones climatológicas adversas, será tratada con detalle en nuestra sección 8.4.

Ante tan compleja situación, se hace necesario el estudio de aquellas publicaciones técnicas que puedan aportar una guía de actuación, así como el análisis de los contratos de reparación con los diferentes armadores con el fin de esclarecer los compromisos adquiridos en los mismos.

3.5.1 La OCIMF: TRABAJOS EN EL ASTILLERO

En su afán de paliar la ausencia de normativa a la vez de prevenir la generación de accidentes, OCIMF publica en julio de 2003 una guía⁷⁴ que contiene una serie de recomendaciones dirigidas a los armadores de los buques con el fin de establecer las bases que definan los requerimientos mínimos exigibles al astillero que pudiera resultar elegido para reparar sus unidades.

Comienza esta publicación alertando de que, una vez inmersos en las labores de reparación, tanto el buque como su tripulación se encuentran sometidos a unos riesgos que difieren en gran medida de aquellos identificados durante la operación del buque, con la particularidad de que han de convivir dos sistemas de gestión de prevención diferentes (buque y astillero). Para resolver esta situación, recomienda, a través de un trabajo de auditoría previa, la identificación de las diferencias entre ambos (“gaps”) y la elaboración de un documento puente (“bridging document”) que contenga las reglas a cumplir por ambas partes.

Asimismo, identifica aquellos riesgos específicos de las tareas habituales durante la estancia en el Astillero de Reparación, tales como trabajos en caliente, entrada en espacios confinados, andamiaje, tratamiento de superficies, etc., con el fin de establecer unos requerimientos mínimos en materia preventiva, aportando listas de comprobación (“check lists”) que facilitan su control.

Dedica un apartado específico al amarre (3.27) que, lejos de servir de guía o establecer obligaciones específicas, no va más allá de advertir de la posibilidad de que el sistema de amarre del buque se encuentre inoperativo, tal y como indicábamos previamente:

“El buque debe mantenerse amarrado de forma segura durante su estancia en el muelle de reparación. Como probablemente sea incapaz de suministrar energía, el Astillero debería de disponer de un sistema que permita tensar los cabos de amarre. La condición de amarre habrá de ser comprobada regularmente tanto por personal del Astillero como por la tripulación. Deben de monitorizarse las condiciones climáticas que pudieran dar lugar a una situación de emergencia así como agilizar la toma de decisiones para disponer amarras adicionales en caso necesario” (OCIMF HSE, 2003, p.22).

Por otro lado, advierte de los riesgos que puede suponer la situación de permanecer abarloado a otro buque que se encuentre también reparando y la obligación de establecer una vía de paso claramente delimitada así como la necesidad de identificación de aquellas actividades que puedan ser incompatibles entre ambos buques (OCIMF HSE, 2003, p.23).

⁷⁴ Titulada “Health, Safety and Environment at New Building and Repair Shipyards and during Factory Acceptance Testing”, se encuentra disponible en formato .pdf en el Anexo 3.8.

Es digna de reconocimiento, sin embargo, su utilidad a la hora de establecer los requerimientos básicos para la elaboración de los documentos puente comentados anteriormente y su referencia a temas tan fundamentales, tales como:

- Respuesta ante las emergencias.
- Capacidades de lucha contraincendios.
- Sistemas de acceso a bordo.
- Establecimiento de comunicaciones de emergencia.
- Comprobación de las condiciones de llegada del buque.
- Obligación de la identificación de las sustancias combustibles a bordo.
- Necesidad de reuniones periódicas y rondas conjuntas.

3.5.2 LOS CONTRATOS DE REPARACIÓN

Los contratos que rigen las reparaciones a bordo de los buques mercantes se encuentran influenciados tanto por el tipo de cliente como por la programación que la necesidad de la reparación del buque haya permitido. Básicamente, podemos distinguir tres modelos claramente diferenciados:

- **Condiciones generales:** Se aplican para la resolución de situaciones de urgencia de aquellos clientes, que no siendo habituales en el Astillero, se ven obligados a acometer una reparación no programada y la falta de tiempo obliga a la firma de un contrato que sigue un formato pre-establecido por éste.
- **Documento puente:** Utilizado por aquellos armadores que han establecido previamente las bases para la reparación de sus buques siguiendo las recomendaciones de la *OCIMF*, a través del desarrollo del correspondiente “*bridging document*”.
- **Contrato específico:** Formato desarrollado por aquellos otros clientes que, siendo o no habituales, han de acometer reparaciones o conversiones específicas en las que se cuenta con un plazo importante para su preparación.

El análisis de este último modelo pierde su utilidad por la singularidad que representa cada caso en concreto. Sin embargo, será necesario estudiar las obligaciones contraídas en las otras dos versiones, que constituyen, por otro lado, la mayoría de las situaciones afrontadas. Motivos de privacidad y competencia nos obligan, lógicamente, a evitar cualquier referencia a los clientes de *NRFF*, por lo que intentaremos extraer simplemente los detalles técnicos y tratar los mismos de forma genérica.

3.5.2.1 Condiciones generales

La utilización de las condiciones generales como formato base para la firma de un contrato de reparación beneficia, sin lugar a dudas, al Astillero. La oportunidad de disponer de los medios que el armador

necesita con urgencia en un momento determinado le dejan a éste en clara desventaja por el hecho de que los costes adicionales que se derivarían del tiempo consumido en una negociación de un contrato más equitativo impiden su desarrollo y le obligan, en cierta forma, a aceptar unas condiciones establecidas unilateralmente.

Aunque cada Astillero redacta sus propias condiciones generales⁷⁵, observamos que la mayoría guardan una gran similitud y desplazan hacia el lado del armador las obligaciones relacionadas con la estancia del buque en muelle. Son dignas de referencia las citas siguientes:

- Las labores de remolque, amarre y vigilancia continua del buque serán responsabilidad exclusiva del Armador (*German Drydocks*).
- El buque y cualquier otra propiedad del Armador que se halle en el Astillero, se encuentra bajo la autoridad del Capitán y al entero riesgo y responsabilidad del Armador.
- Los temporales y cortes en el suministro eléctrico tendrán la consideración de Fuerza Mayor (*Danish Maritime*).
- El Astillero no tendrá ninguna responsabilidad frente al Armador por pérdidas y/o daños cualquiera que sea su naturaleza y/o causa, salvo lo expresamente indicado en estas Condiciones, durante todo el tiempo de las reparaciones, cualquiera que sea su duración, tanto si el buque se encuentra en dique, en muelle o fondeado.
- El Astillero no es responsable de los daños que se deriven del amarre inadecuado o de condiciones de mal tiempo. El Armador tendrá que sufragar los costes de reparación de las averías ocasionadas al muelle como consecuencia de cualquier incidente de este tipo (*Sanmar Shipyard*).

Una fórmula más equitativa que permite resolver los casos de urgencia y que cuenta con reconocimiento internacional consiste en la utilización de un formato BIMCO⁷⁶. Tal y como puede comprobarse en el Anexo 3.9, el modelo REPAIRCON, desarrollado expresamente para la reparación estándar de buques, no contempla párrafos que pudieran considerarse abusivos, como los que se acaban de citar, sino que establece un marco que permite abordar fundamentalmente los aspectos económicos y legales.

En lo que se refiere al amarre, se ha identificado únicamente en el formato BIMCO la obligación del Astillero de proveer al buque de un muelle adecuado para su amarre seguro. No se entra a valorar, en ninguna de las cláusulas, el reparto de obligaciones que nos ocupa.

⁷⁵ En el Anexo 3.9 pueden consultarse las Condiciones Generales de *German Drydocks*, *Lloyd Werft*, *Danish Maritime* y *Sanmar Shipyard*.

⁷⁶ BIMCO (*Baltic and International Maritime Council*) es una asociación de ámbito marítimo que provee a sus miembros (armadores, operadores, *brokers*, agentes, etc.) de formatos de contratos y cláusulas con el fin de estandarizar las actividades comerciales, basándose en el libre comercio y el uso de prácticas no abusivas ("*fair business practices*").

Cabe incluir también en este apartado de “*Condiciones Generales*” aquellos casos en los que la Autoridad Portuaria contempla la posibilidad de permitir la estancia de buques con el fin de efectuar pequeñas reparaciones en los muelles que gestiona directamente. Estas situaciones se encuentran reguladas normalmente a través de un Pliego de Condiciones desarrollado por la Dirección del Puerto. En el caso particular de la Bahía de Algeciras (disponible en el Anexo 3.9), se observa su sensibilización con la seguridad en el amarre, cuando se cita expresamente: “*Los trabajos de reparación y mantenimiento para buques mayores de 100000 TM de desplazamiento en atraque serán autorizadas específicamente por la Autoridad Portuaria, en consideración a los medios de amarre, defensas, así como esfuerzos sobre el buque*”. Desconociendo el contenido de los procedimientos o instrucciones que darán lugar a la consiguiente autorización, se refleja el interés de la entidad propietaria de la instalación de evaluar la idoneidad de ésta para permitir la estancia segura del buque.

3.5.2.2 Documentos puente

Los acuerdos de flota que NRFF ha formalizado con varios armadores de gran relevancia mundial, establecen el marco de relaciones desde los puntos de vista económico, de calidad y preventivo. Este último aspecto, como se adelantaba, se ve materializado, en ciertos casos, en la forma de un documento puente.

Se ha comprobado que la totalidad de los documentos puente vigentes siguen la estructura recomendada por OCIMF para trabajos en el Astillero y cabe mencionar que las cuestiones de obligaciones en el amarre que nos ocupan no son tratadas, de forma explícita, en ninguno de ellos.

De su estudio particularizado se han extraído aquellas cuestiones que a nuestro parecer confirman las obligaciones identificadas o aportan alguna acción adicional a tener en cuenta:

- Las **defensas** del muelle han de estar diseñadas para causar el mínimo daño al casco recién pintado.
- El Astillero proporcionará los **cabos adicionales** necesarios si las condiciones climáticas aconsejasen su utilización.
- Obligación de **realizar la disposición de amarre** y presentarla al Capitán para modificar lo que se estime oportuno.
- El mantenimiento de las condiciones de amarre será a cargo de la tripulación.
- El Astillero debe de disponer de **medios alternativos** para tensar los cabos.
- Se realizarán **inspecciones conjuntas** para comprobar el mantenimiento de las condiciones de seguridad adecuadas.
- El Astillero se compromete a la atención durante las 24 horas del día, 365 días al año, de un **Centro de Control de Emergencias** capaz de comunicarse en lengua inglesa.
- Se establecerán, de acuerdo con el buque, los **canales de comunicación** de emergencia.

- El Astillero proporcionará diariamente partes de **previsión meteorológica** con el fin de complementar la información recibida en el buque a través de sus propias fuentes.

3.5.3 OTROS ASPECTOS JURÍDICOS DE INTERÉS

El contrato acordado entre el Armador y el Astillero es un elemento importante para la definición de las obligaciones de ambas partes, pero, sin duda alguna, no exime a ninguna de ellas del deber de disponer de todos los medios a su alcance para hacer frente a una emergencia.

Independientemente de los compromisos adquiridos en el contrato, hemos visto que, como propietario de la instalación donde se encuentra el buque, el Astillero juega un papel decisivo, tanto en la prevención de riesgos como en la gestión de la emergencia.

En el caso de un accidente que afectase tanto a las personas como al Medio Ambiente, es difícil prever cómo interpretará un juez las correspondientes responsabilidades. El conjunto de las medidas derivadas de una evaluación previa que tenga como fin afrontar una situación de alerta roja servirán como acción preventiva para evitar daños, a la vez de proteger a los responsables del Astillero de las posibles implicaciones tanto civiles como penales.

De forma paralela al estudio que nos ocupa, la Dirección de *NRFF*, preocupada por esta situación, encargó un análisis de la misma, desde el punto de vista legal, a la Asesoría Jurídica de Navantia Ría de Ferrol. La respuesta a esta solicitud, que puede consultarse en el Anexo 3.10, resalta la necesidad de que el Astillero mantenga una actitud pro-activa desde el momento de la recepción de la alerta de un episodio meteorológico adverso y concluye en las recomendaciones siguientes:

- *Entregar al Capitán del buque y/o representante de la Compañía Armadora, el Plan de emergencia que se efectúe, junto con el resto de las normas internas de prevención de las que rutinariamente se hace entrega.*
- *Con independencia de quien efectúe el amarre, hacer entrega del cálculo del mismo solicitando comentarios y/o su conformidad.*
- *Hacer entrega de todos los partes meteorológicos, especialmente en caso de avisos por alerta roja. En ese último supuesto, y tras efectuar el nuevo cálculo de amarre (de emergencia) adaptado a la climatología anunciada, ponerlo en conocimiento del Capitán del buque para comentarios y/o su conformidad al mismo.*
- *En cuanto se tenga conocimiento de la alerta, disponer de todos los medios tanto materiales como humanos que se estimen necesarios para poner en marcha las acciones necesarias para evitar cualquier incidente.*

Este informe considera también fundamental las aportaciones del Capitán en la lucha contra la emergencia. Aunque es creencia habitual que los procedimientos elaborados a partir de un estudio detallado difícilmente pueden mejorarse, este análisis no podrá completarse si no se tienen en cuenta las

condiciones particulares del buque (relativas tanto a los medios humanos como materiales) de las que tendremos conocimiento a través de la implicación de su Capitán.

Es importante que mantengamos presente que la Ley protege a quién, en su afán de perseguir un fin bueno, resulte equivocado en las decisiones tomadas. En este sentido es necesario tener “*los deberes hechos*”, es decir, haber implementado las medidas preventivas que se hayan estimado más convenientes, aun cuando éstas puedan resultar finalmente inapropiadas.

En la búsqueda de accidentes marítimos relacionados con el amarre, al objeto de configurar las lecciones aprendidas de la sección 3.4, nos encontramos ante un caso resuelto por un juez australiano que ilustra este espíritu⁷⁷:

- En el transcurso de un periodo de alerta amarilla que anticipaba la llegada de un ciclón, el gerente de una empresa naviera con base en Dampier (Noroeste de Australia), decide cambiar la posición de amarre de una lancha de servicio a prácticos (Pilbara Pilot), desde su muelle habitual, que estaba considerado a prueba de ciclones y trasladarla a otro lugar de mayor calado, haciéndola firme a la popa de otra embarcación, también de su propiedad (Pilbara Jarrah).
- La llegada del temporal provoca la rotura de los cabos entre ambas embarcaciones y, tras su marcha a la deriva, la lancha finalmente se hunde. En el desarrollo del juicio quedó demostrado que los daños hubieran sido menores si no se hubiese procedido al traslado y, por lo tanto, la compañía de seguros estimaba que no debía hacerse cargo de los daños.
- Sin embargo, el juez en su sentencia obliga a la aseguradora a aceptar los costes ya que interpreta que todas las acciones, aunque erróneas, han ido encaminadas a preservar la propiedad asegurada y que la “*causa inmediata*”⁷⁸ del accidente ha sido el propio ciclón (“*the proximate cause was not the failure to moor the vessel on the cyclone proof mooring but the cyclone itself*”).

El mismo espíritu podemos encontrarlo en el formato REPAIRCON estudiado previamente. En su cláusula 8 (“*Disruptions*”) indica que el periodo de contrato se extenderá en casos de Fuerza Mayor, entre los que se incluyen aquellas condiciones climáticas extraordinarias, “*siempre y cuando el Astillero haya hecho los esfuerzos razonables destinados a evitar o minimizar sus efectos*”.

⁷⁷ En el Anexo 3.10 puede encontrarse más información sobre este suceso.

⁷⁸ Causa inmediata o “*proximate cause*” es un término legal anglosajón que contempla la posibilidad de que la causa de un daño pueda ser un suceso relacionado con el mismo, constituyendo una limitación de responsabilidad de la causa de hecho o “*cause-in-fact*” (http://en.wikipedia.org/wiki/Proximate_cause).

El término de **Fuerza Mayor** ha de ser tratado con especial cuidado cuando está referido a las condiciones meteorológicas. La definición propia de la expresión (“*todo evento que ni pudo ser previsto, ni, de haberlo sido, podría haberse evitado*”⁷⁹) excluye que la inmensa mayoría de los accidentes pudieran considerarse como consecuencia del mismo.

Con ello queremos decir que la causa de un siniestro producido en el litoral del Noroeste de España por la rotura de amarras de un buque como consecuencia de una velocidad del viento de 100 km/h, anunciado previamente en una alerta meteorológica, difícilmente podrá ser identificada como Fuerza Mayor. Debido a las condiciones particulares de la zona, constituirá un suceso “*poco probable*” pero no “*impredecible*”, sin perjuicio, además, de analizar qué medidas han sido tomadas con el fin de evitar el accidente.

Buen ejemplo de lo expuesto lo constituye el caso Bunge Corporation contra Freeport Marine Repair Inc., tratado en la Corte de Apelación número 11 de los Estados Unidos⁸⁰, que resumimos a continuación:

- En el final de la etapa de su construcción, un buque amarrado en el astillero de Freeport (Florida) rompe sus cabos al paso del huracán Opal y colisiona con las instalaciones vecinas destinadas a la carga de grano, propiedad de Bunge Corporation. Las elevadas velocidades de viento registradas (entre 157 y 192 km/h) no constituyeron finalmente causa de Fuerza Mayor debido a que el tribunal consideró que éstas no alcanzaron una intensidad tal que la marcha a la deriva del buque era inevitable, aún en el caso de haber reforzado el amarre convenientemente (“*the winds were not of such force that no reasonable preparations would have prevented her from breaking free from her moorings*”).

Por lo tanto, los accidentes “*producidos por Malos Tiempos u otros Peligros del Mar que constituyan Fuerza Mayor resultan en el Siglo XXI una excepción por la interpretación restringida de los jueces*” (Álvarez, p.5)⁸¹.

3.5.4 RESUMEN DE OBLIGACIONES

Una vez observadas las normas que rigen en el mundo del transporte de mercancías peligrosas, las obligaciones que nos marca la ley española, las recomendaciones emitidas por los informes de las Comisiones de Investigación de los accidentes considerados y los compromisos adquiridos en las diferentes modalidades de contrato, llega el momento de preguntarnos: ¿Qué hacer ante una alerta

⁷⁹ Definición de acuerdo al artículo 1105 del Código Civil español.

⁸⁰ Puede encontrarse más información sobre este juicio en: <http://openjurist.org/240/f3d/919/bunge-corporation-ranger-insurance-co-v-freeport-marine-repair-inc>

⁸¹ Álvarez, miembro de la Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios, analiza qué tipos de “Malos Tiempos” pueden constituir un caso de Fuerza Mayor en un estudio jurídico donde se contemplan múltiples sentencias, que se incluye en el Anexo 3.10, y puede también obtenerse en <http://www.aadip.org.ar>.

meteorológica que pudiera comprometer la seguridad del amarre del buque en su periodo de reparación?
¿Debe el Astillero ser pro-activo en lugar de atender simplemente las demandas del Capitán?

Sin duda alguna, la respuesta merece un sí rotundo. Por el hecho de que ciertos sistemas del buque se encuentren con frecuencia inoperativos y de que el personal propio podría verse afectado directamente por un accidente relativo al amarre, la implicación del Astillero ha de ser mayor que la que pudiera tener la propiedad de un muelle de carga e incluso una terminal de productos petrolíferos.

El Astillero, además de velar porque las instalaciones del atraque sean adecuadas para hacer frente a un episodio meteorológico adverso y de mantener las mismas en buen estado de funcionamiento, posee el deber “*in vigilando*” que le responsabiliza de asegurar de que en su ámbito de actuación se mantienen las mejores condiciones de seguridad que protejan tanto al personal como al Medio Ambiente.

Por su parte, al buque se le supone también una respuesta activa para luchar contra la emergencia, de forma especial en todas aquellas cuestiones operativas que han de ser realizadas desde a bordo, y que son vitales en la resistencia de su amarre, tales como:

- La vigilancia de los cabos, manteniendo los mismos con tensiones similares, independientemente de la condición de marea.
- Asegurar la eficaz operación de los frenos de las maquinillas con el adecuado mantenimiento de los mismos y las correspondientes pruebas periódicas (siempre y cuando éstos se encuentren operativos).
- Acordar con el Astillero la disposición de amarre más conveniente.
- Decidir la necesidad de otros medios externos para la lucha contra la emergencia, tales como la presencia de un práctico del puerto o de remolcadores de apoyo.

Hemos creído conveniente agrupar cada una de las obligaciones del Astillero identificadas a lo largo del presente capítulo en voces más genéricas para componer una estructura como la representada en la figura 3.7, que las categoriza en tres apartados bien diferenciados:

1. **Medidas preventivas anteriores a la llegada del buque**, con el fin de que el Astillero pueda confirmar la compatibilidad entre éste y el muelle asignado, asegurándose, a la vez, de su resistencia ante unas ciertas condiciones meteorológicas que se habrán de establecer previamente.
2. **Medidas preventivas durante la estancia del buque** que irán encaminadas hacia la observación y comunicación de las posibles alertas meteorológicas así como el establecimiento de medidas de contingencia extremas.
3. Habilitar un **Plan de Emergencia** lo más detallado posible que identifique y asegure la disposición de los medios más convenientes, así como las comunicaciones con los buques y la coordinación con planes de rango superior.

MEDIDAS PREVENTIVAS	ANTES DE LA LLEGADA DEL BUQUE	REFERENCIA
	Cálculo de la resistencia del amarre	Capítulos 4 y 5
	Preparar la disposición de amarre prevista que contenga los parámetros fundamentales del muelle y la posición y SWL de los puntos de amarre	Capítulo 5
	Análisis de la compatibilidad del muelle asignado y detección de necesidades de mejora de medios	Capítulo 6
	DURANTE LA ESTANCIA DEL BUQUE	REFERENCIA
	Disponer del número necesario de cabos adicionales para reforzar el amarre en caso requerido	Capítulo 6
	Monitorización de las condiciones meteorológicas, trasladando dicha información al Capitán.	Capítulo 7
	Analizar las posibles medidas extremas de contingencia	Capítulo 8
	PLAN DE EMERGENCIA	REFERENCIA
	Disponer de un Centro de Control de la Emergencia debidamente dotado	Capítulo 9
LUCHA EMERGENCIA	Establecer de los canales de comunicación en emergencia	
	Prever que la emergencia pudiera afectar a otras instalaciones	

Figura 3.7 Resumen de obligaciones del Astillero de Reparación y su referencia de desarrollo en el presente trabajo.
Fuente: Autor

A lo largo de los siguientes capítulos, se pretende llevar a cabo el desarrollo de diferentes métodos y procedimientos que permitan cumplir de forma directa con buena parte de las obligaciones identificadas, así como proponer acciones para aquellas otras que requerirían futuras inversiones.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES PARTICULARES DE LA ZONA

4.1 INTRODUCCIÓN

Aunque existen requerimientos de reconocido prestigio internacional y de aplicación a la flota dedicada al transporte de gas licuado que determinan las condiciones mínimas tanto de viento como de corriente que han de soportar los sistemas de amarre estándar, se hace necesario estudiar las condiciones particulares de la zona para la correcta evaluación del riesgo al que se verá sometido nuestro buque.

La guía de la *OCIMF* establece que el estudio de la integridad del amarre ha de realizarse teniendo en cuenta velocidades de viento de 60 nudos (111 km/h) que puedan soplar en cualquier dirección, combinado con velocidades de corriente de 3 nudos en sentido longitudinal, 2 nudos a 10° por la proa y popa, así como 0,75 nudos a 90° (*OCIMF*, 2008, p. 32). Es evidente que estas condiciones pudieran ser consideradas como muy restrictivas en puertos situados en ciertas localizaciones geográficas, mientras que en otros ocurriría todo lo contrario. Por otro lado, no podemos olvidar que nuestro buque podría encontrarse inoperativo y, por lo tanto, la disposición de amarre cobra una mayor responsabilidad.

En este capítulo trataremos de identificar las condiciones, tanto de viento como de corrientes marinas, a las que podrían verse sometidas los buques amarrados en el interior de la Ría de Ferrol, donde están situados los centros de NRFF.

Este municipio gallego del noroeste de España se localiza a 52 kilómetros al Este de A Coruña, la capital de su provincia. La ría que lleva su nombre, donde desemboca el río Grande de Xubia, se sitúa entre los Cabos Prioriño y Segaña, protegida de los vientos y los temporales por los montes Ventoso y Faro.



Figura 4.1 Situación de la ciudad de Ferrol dentro de la Comunidad de Galicia. Fuente: <http://www.google.es/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com>

Junto a las rías de A Coruña, Betanzos y Ares, conforma el Golfo Ártabro, nombre heredado de la época romana.

Su situación, en la parte septentrional de una amplia ensenada, frente al Océano Atlántico, hace que la ciudad goce de un clima oceánico, con temperaturas suaves durante todo el año y precipitaciones moderadas.

4.2 EL VIENTO EN LA RÍA DE FERROL

Galicia, Comunidad Autónoma a la que pertenece nuestra ciudad, constituye, sin embargo, una de las principales vías de entrada a Europa de las profundas borrascas y sistemas frontales formados sobre el Océano Atlántico, en el espacio frontera entre las masas de aire frío polar y las masas de aire cálido de origen tropical. La existencia de altos gradientes de presión ligados a estas áreas de baja presión genera fuertes vientos, acompañados en el mar por un violento oleaje, lo que en terminología climática se denomina como temporales de lluvia y viento.

En algunos casos proceden de la fase final de ciclones tropicales que comienzan en la zona ecuatorial junto a las costas de África, suben hacia el Caribe y las costas atlánticas de Norteamérica y de allí giran hacia la Península Ibérica. En esta etapa final de su evolución, cuando llegan al centro del Atlántico en su viaje hacia España, ya han perdido fuerza y dejan de llamarse ciclones, aunque permanece su influencia quedando reducidos a fuertes borrascas.

Conocedores de esta situación, será esencial la identificación de las magnitudes siguientes:

- a. **la dirección de los vientos más fuertes** que históricamente se han registrado en las inmediaciones del puerto de Ferrol.
- b. **las máximas velocidades de viento** que hayan sido detectadas.
- c. **la estacionalidad y frecuencia** de los temporales, es decir, la identificación de los meses del año en los que estos vientos se producen con mayor frecuencia y el número de veces que se repiten.

Dichas magnitudes nos darán idea, por una parte, del riesgo al que estará expuesto cada uno de nuestros muelles y, por otra, de las condiciones mínimas de velocidad de viento que habremos de fijar para el cálculo de los amarres de los buques.

A pesar de que los temporales de viento y lluvia constituyen un riesgo climático de primera magnitud, se ha encontrado muy poca bibliografía que nos ayude realmente a su identificación. No obstante, son de destacar dos estudios del Departamento de Geografía de la Universidad de Santiago.

En el primero de ellos, *“se pretende mejorar el conocimiento sobre el comportamiento extremo del viento en Galicia, analizando para ello el régimen y magnitud de las rachas máximas, su estacionalidad así como las situaciones sinópticas que las generan”* (Martí, García y Miragaya, 1998, p. 263), basándose en mediciones obtenidas en siete estaciones meteorológicas distribuidas por toda la geografía gallega, considerando los datos diarios del viento durante el periodo 1984 a 1997.

En el segundo, Manuel Cabalar *“pretende definir una propuesta de clasificación de los episodios de temporal de lluvia y viento en Galicia atendiendo a su intensidad y potencial peligrosidad”* (Cabalar,

2004, p. 103), analizando la evolución de los episodios de temporal en el periodo 1961-2001 y tomando como referencia los datos de los observatorios de A Coruña, Santiago y Peinador.

Coincidiendo con la entrada en el siglo XXI, los avances tecnológicos producidos en el campo de la instrumentación climática y las inversiones realizadas por los organismos oficiales de Meteorología han mejorado sensiblemente la fiabilidad de los datos registrados así como la densidad de localizaciones de registro. Gracias al empleo de nuevas tecnologías, merece destacarse también la cada vez mayor facilidad en lo relativo al libre acceso a la información sobre esta materia.

4.2.1 ACCESO A LOS DATOS CLIMÁTICOS

Nuestro trabajo consistirá en el análisis de los datos que podamos obtener en las inmediaciones de la Ría de Ferrol hasta el mes de mayo del año 2011, manteniendo los mencionados estudios como punto de referencia.

Para ello, contamos con los servicios de los dos organismos meteorológicos oficiales que disponen de estaciones meteorológicas en la zona: AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) y METEOGALICIA

4.2.1.1 *Agencia Estatal de Meteorología*

La Agencia Estatal de Meteorología es un organismo del Gobierno de España, cuyo objetivo básico es la prestación de servicios meteorológicos que sean competencia del Estado Español. Fue creada por Real Decreto sustituyendo al antiguo Instituto Nacional de Meteorología y, actualmente, se encuentra adscrita al Ministerio de Medio Ambiente a través de la Secretaría de Estado de Cambio Climático.

Además de la prestación de los servicios meteorológicos de competencia nacional, tiene como misión el “*apoyo al ejercicio de otras políticas públicas y actividades privadas, contribuyendo a la seguridad de personas y bienes y al bienestar y desarrollo sostenible de la sociedad española*” (BOE, R.D. 186/2008, p. 8073).

El Instituto Central Meteorológico (que posteriormente se llamaría Instituto Nacional de Meteorología) se creó por el Real Decreto de 12 de agosto de 1887 a propuesta del Ministerio de Fomento. Fue la primera institución dedicada al servicio meteorológico en España y, según se enuncia en el Decreto de Fundación, el Instituto debía ocuparse especialmente en calcular y anunciar el tiempo probable a los puertos y capitales de provincia, sin perjuicio de los demás trabajos científicos y prácticos que se le encomendasen (Díaz, 2008, p.36).

La Agencia Estatal de Meteorología posee en la actualidad una amplia red de Centros Meteorológicos, distribuidos entre las diferentes Comunidades Autónomas. Existen, asimismo, Oficinas Meteorológicas de Aeropuertos en casi todos los aeropuertos comerciales españoles y también en las Bases Aéreas del Ejército del Aire.

Es importante destacar que **AEMET ostenta la condición de autoridad meteorológica del Estado, así como la condición de autoridad meteorológica aeronáutica.**

En las inmediaciones del puerto de Ferrol, la Agencia Estatal de Meteorología dispone de cuatro estaciones, que identificaremos con un número para facilitar su localización relativa en un plano de la zona (figura 4.3). Su situación es la siguiente:

A CORUÑA [1]

Es la más antigua de todas las estaciones consideradas, disponiendo de datos desde 1933.

Está situada en las coordenadas 43°22'02"N, 008°25'10"W a una altitud de 58 metros sobre el nivel del mar. AEMET la identifica con el código indicativo 1387.

AEROPUERTO DE ALVEDRO [2]

Situada en el Aeropuerto de Alvedro, 43°18'25" N, 008°22'20" W, a una altitud de 97 metros sobre el nivel del mar, en el concejo de Culleredo, limítrofe con el de La Coruña.

Registra datos de temperatura, presión, viento, precipitación y racha.

Su archivo de datos comienza en 1971. Se encuentra identificada con el código 1387E.

A GRAÑA [3]

Identificada con el código 1354C, se encuentra ubicada en la posición 43°28'31" N, 008°15'37" W, a una altitud de 6 metros sobre el nivel del mar, en el concejo de Ferrol, en la parte Norte de su Ría.

Es de reciente creación, por lo que solamente disponemos de datos desde el año 2004.

MONTEFARO [4]

Situada en 43°27'02" N, Longitud 008°16'59" W, a una altitud de 240 m, en el concejo de Mugardos, en el margen derecho de la entrada de la Ría de Ferrol.

Proporciona datos de presión, humedad, precipitación, temperatura, viento y medida de racha.

Disponemos de datos desde 1995 hasta 2001.

Debido a que es la estación más elevada de todas las consideradas, los valores de velocidad de racha se ven incrementados con respecto a las demás. Posee el código de identificación 1360O.

4.2.1.2 *Meteogalicia*

Meteogalicia, también conocido como Unidad de Observación y Predicción Meteorológica de Galicia, es un organismo dependiente de la Consejería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras, creado en el año 2000 fruto de un convenio entre la Universidad de Santiago de Compostela y la Xunta de Galicia.

Tiene como objetivos principales la realización de una predicción meteorológica de Galicia y la explotación y mantenimiento de la red de observación meteorológica y climatológica de la Xunta de Galicia.

La red inicial de estaciones meteorológicas se incrementó de una forma importante desde su creación. En la actualidad, posee un total de 93 estaciones, de las cuales 66 son de registro automático. Asimismo, y con relación al tipo de instrumental, *“se realizaron mejoras sustanciales sobre la red clásica del Instituto Nacional de Meteorología: el viento, un parámetro tradicionalmente poco o mal atendido, se mide ahora en estaciones a una altura estándar de diez metros”* (Díaz, 2008, p. 68).

Dispone de tres estaciones cercanas a la Ría de Ferrol:

CIS FERROL [5]

Está ubicada a 43°29'24" de latitud Norte y 008°15'00" de longitud Oeste y a una altitud de 34 metros. Situada en el Ayuntamiento de Ferrol, entró en servicio el 1 de enero de 2000.



Figura 4.2 Imagen de la Estación Meteorológica de CIS Ferrol. Fuente: <http://www2.meteogalicia.es/galego/observacion/estacions>

CORUÑA DIQUE [6]

Ubicada a 43°22'12" N y 008°22'12" W a una altitud de 7 metros sobre el nivel del mar, en el dique de abrigo del puerto de La Coruña. Fue dada de alta el 11 de noviembre de 2007.

CORUÑA [7]

Situada a 43°21'36" N y 008°24'36" W a una altitud de 50 metros, en el Ayuntamiento de La Coruña. Comenzó a funcionar el 7 de abril de 2010. Solamente registra datos de temperatura, humedad y lluvia, por lo que no puede ser tomada en consideración a los efectos de esta investigación.

En el mapa representado en la figura 4.3 puede apreciarse la situación de cada una de las estaciones que tendremos en cuenta en nuestro estudio, identificadas de acuerdo con el número asignado.

A la vista de la figura, parece lógico pensar que, debido a su localización dentro de la Ría de Ferrol, las estaciones a considerar deberían de ser las designadas como [3], [4] y [5]. Sin embargo, a raíz de su reciente puesta en servicio (la más antigua, CIS FERROL, registra datos desde el 1 de enero de 2000), tendremos también en cuenta aquellas numeradas como [1], [2] y [6], correspondientes a la zona de A Coruña.

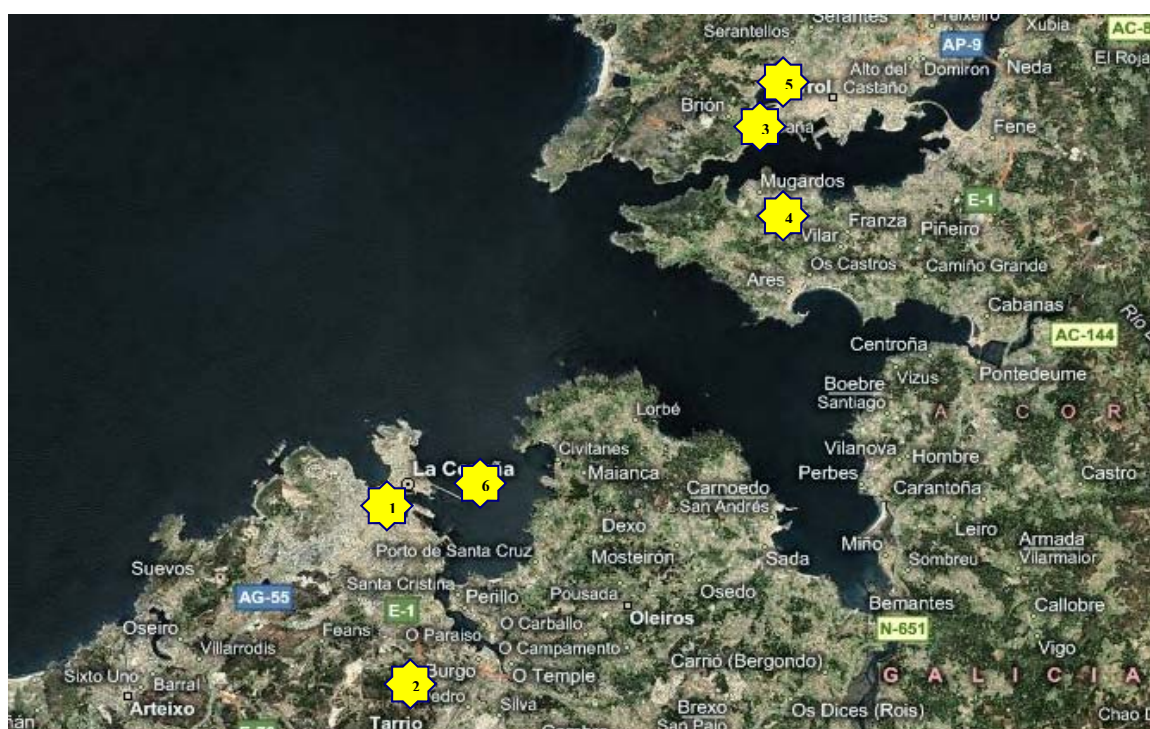


Figura 4.3 Disposición geográfica de las estaciones meteorológicas. Fuente: <http://maps.google.es/maps>

4.2.1.3 Recopilación de datos

El acceso a los datos de cada una de las estaciones consideradas se ha realizado a través de tres vías diferentes:

1. La Agencia Estatal de Meteorología ha puesto en operación un servidor de ficheros, al que se accede desde su página web (www.aemet.es), a través de la pestaña “Servidor de Datos”. En el mismo y dentro de las “Series Climatológicas”, se encuentran los datos de las estaciones de la Red Principal ordenadas en series históricas de datos diarios y mensuales que se actualizan en la primera quincena del mes siguiente al que se refieren y se presentan en formato Excel.

2. Se ha detectado, utilizando la vía anterior, que los datos históricos de alguna de las estaciones, tal es el caso de Montefaro (1360O) y A Graña (1354C), no se encuentran completos. Por este motivo, se hizo necesario cumplimentar una “*Solicitud de Prestaciones Meteorológicas*” y cursar la misma al Servicio de Atención al Público de AEMET, recibéndose, por correo electrónico, también en formato Excel, los valores que se echaron en falta. En el Anexo 4.1 se muestra una copia de esta solicitud así como los datos recibidos.
3. La página web de Meteogalicia (www.meteogalicia.es) permite la consulta de datos de una forma más sencilla y mejor estructurada. Dentro de las “*Estaciones Meteorológicas*”, es necesario seleccionar la estación deseada e indicar en la misma un rango de fechas y las variables a consultar, obteniendo los resultados en formato Excel.

4.2.2 ANÁLISIS DE DIRECCIÓN DE RACHA

Una vez extraída cada una de las tablas Excel procedentes de las estaciones mencionadas, que contienen todos los datos accesibles desde su puesta en servicio hasta el 30 de mayo de 2011, ha sido necesario proceder a filtrar los mismos de manera individual.

Nuestro primer objetivo consistió en localizar todas aquellas fechas en las que el registro de racha de viento había superado el valor de 90 km/h en cualquiera de las estaciones consideradas. Al ser Microsoft Excel la herramienta informática más apropiada para el filtrado de los miles de datos obtenidos, empleamos dicho programa para tal fin.

Aplicando este filtro, obtuvimos los siguientes resultados:

ESTACIÓN	nº episodios	primer registro	último registro
A CORUÑA	343	10/10/1933	09/11/2010
ALVEDRO	99	18/12/1971	03/10/2010
A GRAÑA	10	octubre 2004	enero 2009
MONTEFARO	31	octubre 1995	marzo 2001
CIS FERROL	16	28/11/2000	24/01/2009
CORUÑA DIQUE	20	16/01/2008	14/02/2011

Figura 4.4 Tabla resumen de registro de vientos mayores de 90 km/h. Fuente: Autor

Derivado del análisis de los datos obtenidos, merece destacar los siguientes puntos:

- La existencia de un gran número de episodios registrados en la estación de A Coruña (343), debido a su amplio periodo de toma de datos (más de 75 años)
- Los datos que se han tenido en cuenta, tanto en la estación de A Graña como en la de Montefaro, son aquellos recibidos a través del informe remitido por Aemet, los cuales no indican valores diarios, sino valores máximos mensuales. Sin embargo, para esta parte de nuestro estudio son perfectamente válidos ya que indican las direcciones que estamos buscando.

- La estación de CIS Ferrol no comienza a registrar direcciones de racha hasta el 3 de enero de 2006; sin embargo, los valores de velocidad de racha almacenados hasta este día son también válidos para comprobar si el resto de las estaciones han registrado valores altos esas mismas fechas.
- Todos estos valores referidos, desde las tablas originales hasta los últimos filtrajes, pueden consultarse en el Anexo 4.2.

El siguiente paso de nuestro estudio consistió en la puesta en común de todos estos episodios. Para ello, se hizo necesario crear una nueva tabla donde estuvieran presentes todas y cada una de las fechas en las que se ha registrado un episodio en cualquiera de las estaciones consideradas.

Con el objetivo de verificar la existencia de cada uno de los episodios y comparar los resultados obtenidos, dicha tabla se completó con las velocidades y direcciones de racha registrados en cada una de las estaciones, independientemente de que su valor fuera, o no, superior a 90 km/h⁸².

Todos aquellos episodios registrados solamente en una de las estaciones han sido desechados. De esta manera, nuestro abanico de datos comienza en 1974, tras la puesta en servicio de la segunda estación más antigua (Alvedro) y finaliza el 30 de mayo del 2011, formando un **espectro de los últimos 37 años, con un registro total de 165 episodios**.

Es de resaltar la gran similitud, de forma general, de los registros de dirección de la racha para una misma fecha presentados en varias estaciones. Este factor nos indica la veracidad de los datos obtenidos y, por consiguiente, de los resultados finales.

ESCALA	VELOCIDAD		DENOMINACIÓN	ALTURA OLAS	MAR	EFECTOS
	m/s	km/h				
9	20,8 - 24,4	75 - 88	Viento muy duro	7,5 - 10	Arbolada	Olas grandes. Las crestas rompen en rollos. Ligeros daños en viviendas
10	24,5 - 28,4	89 - 102	Temporal	10 - 12,5	Arbolada	Olas muy grandes. Crestas en penachos. Poca visibilidad. Árboles arrancados. Importantes daños en viviendas
11	28,5 - 32,6	103 - 117	Borrasca	12,5 - 14	Montañosa	Olas altísimas. Todo el mar espumoso. Acompañado de extensos destrozos
12	> 32,7	> 118	Huracán	> 14	De enorme peligro	Aire lleno de espuma. Visibilidad reducidísima. Estragos graves y extensos

Figura 4.5 Escala de Beaufort (fuerzas 9 a 12). Fuente: Autor

El siguiente paso en nuestro trabajo consistió en calcular las medias aritméticas, tanto de velocidad de racha como de su dirección. Como cabía esperar, la velocidad media desciende considerablemente, por lo que, con el objeto de tener un número de datos adecuado, hemos de reducir la velocidad considerada desde 90 a 88 km/h (24,5 m/s), valor coincidente con la denominación de racha muy intensa (“Temporal”) de acuerdo con el umbral establecido en la escala de *Beaufort* (figura 4.5).

⁸² Esta tabla se encuentra disponible dentro del Anexo 4.3.

De esta manera, nuestros datos abarcan finalmente 96 episodios (Anexo 4.4) que, representados por sus coordenadas polares en una rosa de los vientos, nos permiten obtener una figura tal como la siguiente.

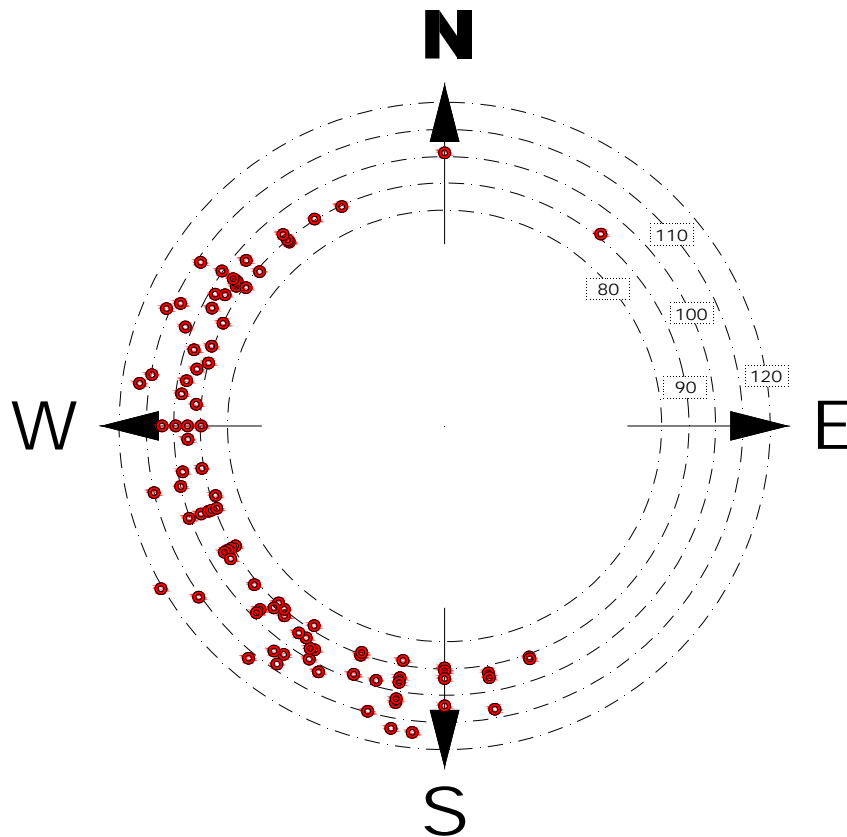


Figura 4.6 Representación gráfica dirección/velocidad rachas. Fuente: Autor

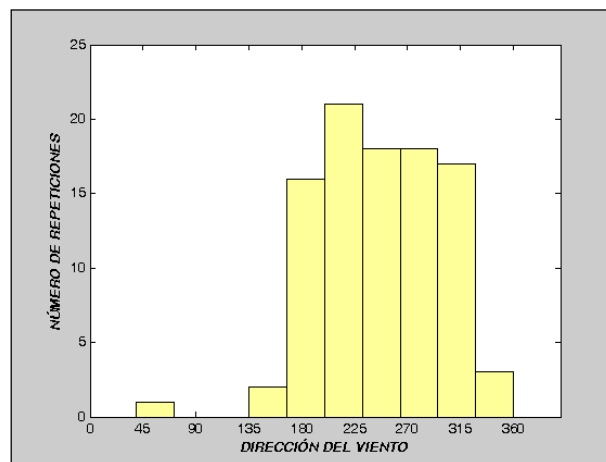


Figura 4.7 Histograma. Fuente: Autor

Si analizamos estos datos en *Matlab* (Anexo 4.5), podemos apreciar fácilmente que cuatro de los datos de partida (aquellos valores más cercanos al Norte) se alejan en gran medida de la media. Aplicando la función “*hist*” obtenemos un gráfico de distribución por intervalos (figura 4.7).

Los resultados anteriores quizás se aprecien mejor si analizamos la distribución de probabilidad de las variables utilizando, para ello, la función “*cdfplot*”:

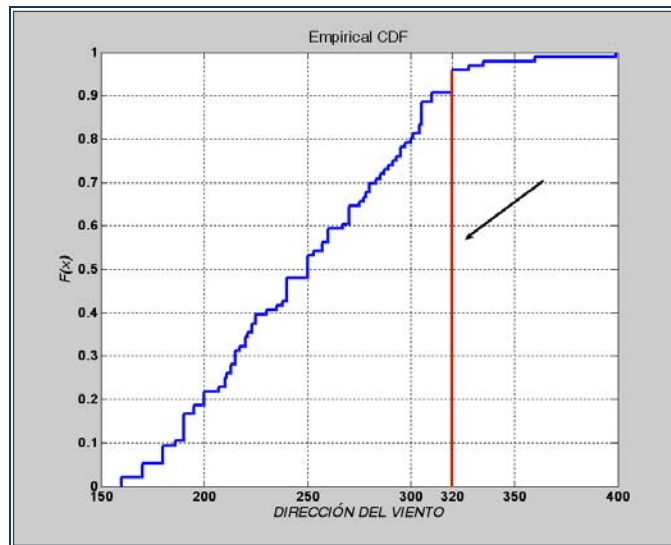


Figura 4.8 Distribución de frecuencias. Fuente: Autor

De esta forma, si descartamos estos cuatro valores (aquellos iguales o mayores a 328°), obtendremos un rango comprendido entre 160° y 320°, tal y como se muestra en la figura siguiente:

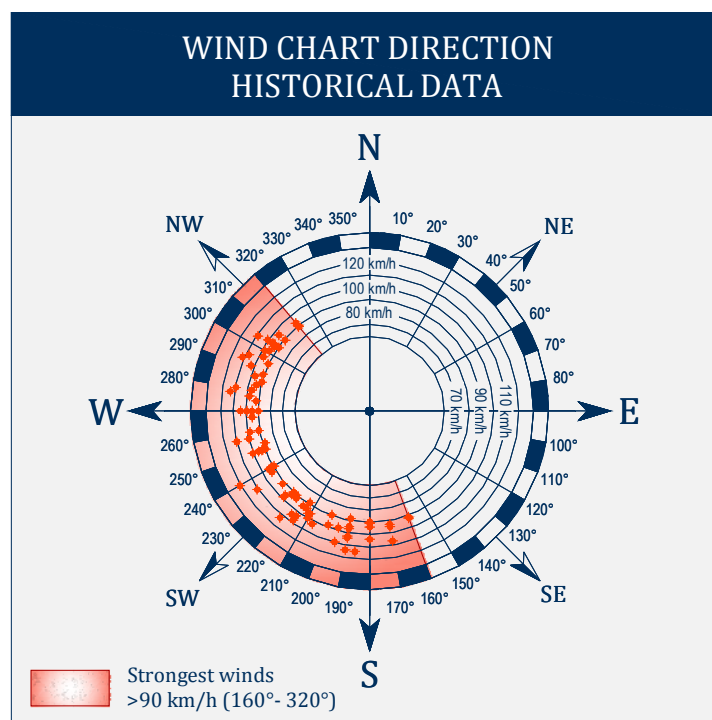


Figura 4.9 Representación gráfica dirección/velocidad rachas. Fuente: NRFF

Con tal discriminación, el resultado de nuestro estudio reflejará una fiabilidad del 96%.

Analizando nuevamente estos 92 episodios en *Matlab* (Anexo 4.6), es de destacar que el valor medio de las direcciones (245,16°) es muy similar a la bisectriz del ángulo formado por los extremos máximo y mínimo (320° y 160°, respectivamente), cuyo resultado es de 240°, lo que nos indica que los episodios están distribuidos de una forma muy homogénea.

En la figura siguiente puede verse el resultado de la aplicación de la función “*cdfplot*” con el fin de analizar la distribución de probabilidad.

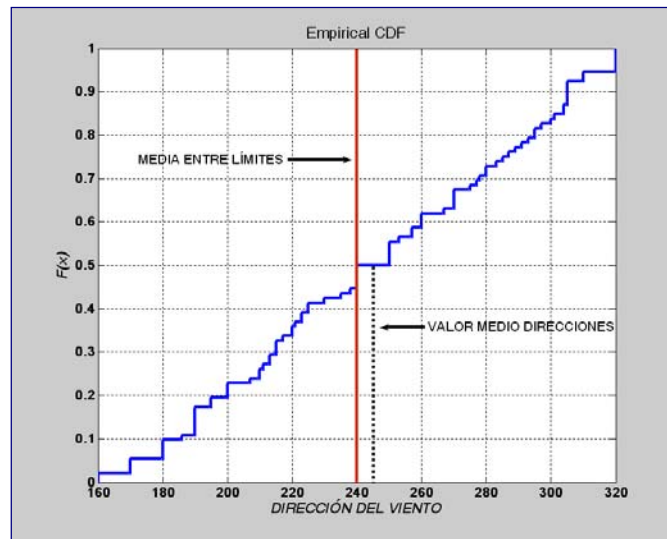


Figura 4.10 Distribución de frecuencias. Fuente: Autor

Como resultado del análisis llevado a cabo, se puede concluir que **los vientos fuertes históricamente observados en las inmediaciones del Puerto de Ferrol han tenido una dirección comprendida entre 160° y 320° con una probabilidad del 96%.**

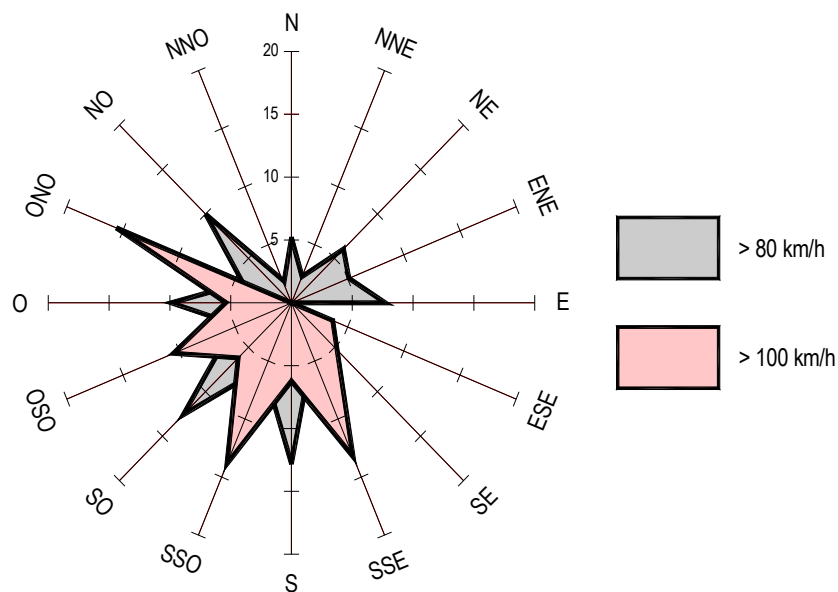


Figura 4.11 Régimen de las rachas superiores a 80 y 100 km/h (Monteventoso). Fuente: Martí, García y Miragaya, 1998, p. 274

Uno de los estudios de la Universidad de Santiago de Compostela (USC), citado anteriormente, define que “las orientaciones SO, SSO y S son las que agrupan la mayor parte de estos episodios con rachas superiores a 60, 80 o 100 km/h, asociadas normalmente a profundas vaguadas atlánticas que tiene en Galicia la vía de entrada hacia el continente europeo” (Martí, García y Miragaya, 1998, p. 264). Como

puede apreciarse, nuestros datos amplían el rango fijado, de forma que la procedencia de los vientos fuertes no es solamente del tercer cuadrante, sino que el sector identificado abarca también las direcciones O y NO.

Sin embargo, la figura 4.11, publicada en el mismo estudio, muestra una disposición muy similar a nuestras conclusiones.

Esta misma publicación menciona también que las situaciones estivales de componente oriental (vientos del NE) suponen un riesgo de rachas mucho menos virulentas. Esta afirmación afianza la decisión de haber descartado los cuatro datos referenciados anteriormente.

4.2.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE RACHA

Otra magnitud importante a fijar es la velocidad de viento que ha de soportar nuestro sistema de amarre. Recordemos que la OCIMF cifra la misma en 60 nudos, es decir, 111 km/h (OCIMF, 2008, p. 32). Para la determinación de dicha velocidad, para cada una de las estaciones consideradas, filtraremos en la base de datos que utilizamos anteriormente todos aquellos episodios en los que el valor de racha haya alcanzado los 28,6 m/s (103 km/h), considerados como “*borrascas*” en la escala *Beaufort* (figura 4.5). Esto nos da como resultado, considerando el periodo 1974-2011, un total de 75 registros. Es evidente que alguno de ellos se encontrará repetido en dos estaciones o más.

A continuación, necesitaremos ordenar por fechas todos los registros e identificar las mencionadas repeticiones, que se resaltan en color sobre la tabla resultante, mostrada en la figura 4.12.

ESTACIÓN	DIA	MES	AÑO	VEL.	DIR.	ESTACIÓN	DIA	MES	AÑO	VEL.	DIR.
ALVEDRO	13	11	1974	31,9	180	MONTEFARO	18	9	1996	29	250
ALVEDRO	27	2	1975	30	180	MONTEFARO	6	6	1997	33	230
ALVEDRO	2	3	1975	33,9	180	MONTEFARO	18	10	1997	29	200
A CORUÑA	3	12	1976	28,9	290	MONTEFARO	17	11	1997	34	200
ALVEDRO	15	3	1977	31,9	200	MONTEFARO	3	3	1998	31	230
A CORUÑA	12	1	1978	31,9	20	MONTEFARO	16	4	1998	29	250
ALVEDRO	23	2	1978	30	180	MONTEFARO	29	12	1998	30	160
ALVEDRO	10	12	1978	32,5	180	MONTEFARO	27	12	1999	29	250
ALVEDRO	11	12	1978	35,6	180	MONTEFARO	5	11	2000	30	290
A CORUÑA	14	12	1978	30,6	250	A CORUÑA	28	12	2000	32,8	260
A CORUÑA	13	2	1979	28,9	270	MONTEFARO	23	1	2001	33	290
A CORUÑA	21	3	1981	30,6	200	A CORUÑA	27	1	2001	31,7	28
A CORUÑA	17	12	1982	28,6	290	A CORUÑA	28	1	2001	31,7	26
A CORUÑA	11	2	1983	29,4	20	ALVEDRO	28	1	2001	31,9	330
A CORUÑA	25	3	1984	30	230	MONTEFARO	5	2	2001	33	230
A CORUÑA	4	10	1984	36,1	340	MONTEFARO	6	3	2001	30	200
A CORUÑA	17	1	1985	28,9	200	A CORUÑA	13	11	2002	28,9	260
ALVEDRO	17	1	1985	28,9	180	A CORUÑA	25	4	2003	29,4	160
A CORUÑA	2	12	1985	31,9	200	A CORUÑA	28	4	2003	29,7	230
ALVEDRO	2	12	1985	28,9	190	A GRAÑA	21	3	2005	29	200

A CORUÑA	23	2	1986	30,6	220	ALVEDRO	26	3	2006	35	220
A CORUÑA	15	10	1987	29,2	240	A GRAÑA	21	9	2006	33	210
ALVEDRO	15	10	1987	33,1	200	A CORUÑA	21	9	2006	31,9	180
ALVEDRO	29	1	1988	29,4	260	A CORUÑA	8	12	2006	31,1	26
A CORUÑA	25	2	1989	31,9	270	ALVEDRO	8	12	2006	28,9	280
ALVEDRO	25	2	1989	28,9	290	A GRAÑA	13	5	2007	29	220
A CORUÑA	26	2	1989	29,2	300	COR. DIQUE	23	1	2009	33,7	252
ALVEDRO	26	2	1989	30,3	290	A GRAÑA	23	1	2009	31	220
A CORUÑA	15	12	1989	32,8	180	A CORUÑA	23	1	2009	35,3	240
A CORUÑA	16	12	1989	28,9	200	ALVEDRO	23	1	2009	35,6	250
A CORUÑA	3	12	1992	28,6	260	COR. DIQUE	24	1	2009	34,1	266
MONTEFARO	24	10	1995	34	250	A CORUÑA	24	1	2009	35,8	270
MONTEFARO	22	12	1995	40	250	COR. DIQUE	13	11	2009	29,2	193
MONTEFARO	1	1	1996	44	290	COR. DIQUE	14	1	2010	35,3	294
MONTEFARO	7	2	1996	34	320	A CORUÑA	14	1	2010	30,8	290
MONTEFARO	5	3	1996	30	70	ALVEDRO	14	1	2010	31,9	340
MONTEFARO	20	4	1996	29	230	COR. DIQUE	14	2	2011	30,4	182
MONTEFARO	1	5	1996	30	290						

Figura 4.12 Rachas de mayor intensidad. Fuente: Autor

De la información contenida en la tabla anterior se puede apreciar que a partir del año 2000, debido a las mejoras técnicas de las estaciones, los valores máximos de viento quedan registrados en varias de ellas simultáneamente con una mayor frecuencia, lo cual confiere a las muestras una mayor fiabilidad. Los valores anteriores a este año requerirán un análisis más exhaustivo.

Desafortunadamente, la mencionada repetición de registros se encuentra, por regla general, ligada a episodios destacables, entre los que cabe citar:

- 4 de octubre de 1984: El ciclón tropical **Hortensia** llega debilitado a las costas gallegas en forma de profunda borrasca, dejando a su paso el triste balance de seis muertos, decenas de heridos y más de 10.000 millones de pesetas en daños materiales.
- 5 de noviembre de 2000: Inundaciones y fuertes vientos, de más de 100 km/h, que dejaron en la comarca de Arousa dos víctimas mortales.
- 13 de noviembre de 2002: El temporal que azotaba todo el litoral gallego, propició que el petrolero *Prestige* se hundiese cerca de la Costa de la Muerte.
- 21 de septiembre de 2006: Los restos del ciclón **Gordon** llegan a la comunidad a las siete de la mañana aunque a las diez ya empezaba a suavizarse. Durante ese lapso de tiempo se registraron ráfagas de viento de más de 120 km/h. Cien mil hogares quedaron sin suministro eléctrico sin que, en algunos casos, pudiera restablecerse hasta pasados varios días.



Figura 4.13 Daños producidos por el ciclón tropical Hortensia. Fuente: <http://www.lavozdeg Galicia.es/fotos/2009/01/29/01101233228492320424165.htm>



Figura 4.14 Los restos del Gordon arrancaron el tejado de dos edificios del barrio ferrolano de Caranza. Fuente: <http://www.elcorreogallego.es/fotos/ecg/restos-huracan-gordon-alcanzan-galicia/tema-temporal/idGaleria-634/>

- 23 de enero de 2009: El ciclón extratropical **Klaus** afectó los días 23, 24 y 25 de enero al norte de España y sur de Francia, ocasionando varios muertos e importantes daños materiales. El fenómeno causante de esta borrasca fue una ciclogénesis explosiva⁸³.
- 14 de enero de 2010: La borrasca **Flora**, esperada inicialmente sólo en el litoral atlántico, con vientos de fuerza 8 y 9, era tan pequeña y compacta que los modelos meteorológicos fueron incapaces de predecir que alcanzaría tierra con mayor intensidad que la prevista en el mar y, como consecuencia de ello, no hubo alerta previa. Unos 200.000 hogares quedaron sin suministro eléctrico y, aunque afectó especialmente al sur de la Comunidad, en A Coruña se alcanzaron rachas de 127 km/h.

⁸³ La ciclogénesis explosiva es una depresión o ciclón en superficie que se forma en un espacio muy corto de tiempo, convirtiéndose en una borrasca muy violenta y adversa en cuestión de pocas horas, produciéndose una bajada de presión de 24 mb en 24 horas o menos. (Fuente: <http://www.tiempo.com/ram/4070/el-concepto-de-ciclognesis-explosiva/>).



Figura 4.15 Las comarcas de Cedeira y Ortigueira (al norte de Ferrol) se vieron especialmente afectadas. Fuente: <http://www.lavozdegalicia.es/fotos/2009/02/02/01101233575237138964116.htm>

FECHA			CORUÑA		ALVEDRO		CIS		DIQUE		A GRAÑA		MONTEFARO		
DIA	MES	AÑO	VEL.	DIR.	VEL.	DIR.	VEL.	DIR.	VEL.	DIR.	VEL.	DIR.	VEL.	COR.	DIR.
13	11	1974	25,6	180	31,9	180									
27	2	1975	18,9	200	30,0	180									
2	3	1975	23,1	200	33,9	180									
3	12	1976	28,9	290	22,8	320									
15	3	1977	27,8	230	31,9	200									
12	1	1978	31,9	20	24,2	340									
23	2	1978	23,6	200	30,0	180									
10	12	1978	26,7	160	32,5	180									
11	12	1978	27,5	200	35,6	180									
14	12	1978	30,6	250	19,7	270									
13	2	1979	28,9	270	23,6	270									
21	3	1981	30,6	200	26,7	230									
17	12	1982	28,6	290	20	340									
11	2	1983	29,4	200	24,2	360									
25	3	1984	30,0	230	19,4	250									
4	10	1984	36,1	340	s/r	s/r									
17	1	1985	28,9	200	28,9	180									
2	12	1985	31,9	200	28,9	190									
23	2	1986	30,6	220	24,7	200									
15	10	1987	29,2	240	33,1	200									
29	1	1988	26,1	240	29,4	260									
25	2	1989	31,9	270	28,9	290									
26	2	1989	29,2	300	30,3	290									
3	12	1992	28,6	260	19,4	210									
24	10	1995	19,2	230	16,4	280							34	21,6	250
22	12	1995	21,4	220	s/r	s/r							40	25,4	250
1	1	1996	25,8	200	21,7	280							44	27,9	290
7	2	1996	20,8	290	19,4	320							34	21,6	320
5	3	1996	16,9	110	11,4	50							30	19,0	70
20	4	1996	15	160	13,9	190							29	18,4	230
1	5	1996	19,2	260	18,6	280							30	19,0	290
18	9	1996	19,7	220	20	280							29	18,4	250
6	6	1997	26,1	220	27,8	200							33	20,9	230
18	10	1997	19,7	140	20	160							29	18,4	200
17	11	1997	19,4	230	24,7	210							34	21,6	200
3	3	1998	21,1	220	24,7	220							31	19,7	230
16	4	1998	25,3	220	25,3	280							29	18,4	250
29	12	1998	18,9	160	20,6	190							30	19,0	160
27	12	1999	25,8	260	26,7	270							29	18,4	250

Figura 4.16 Comparativa de valores. Fuente: Autor

De esta forma, obtenemos como resultado una tabla comparativa como la de la figura 4.16, donde se destacan en color rojo aquellos datos mayores de 103 km/h. Cabe señalar que una gran parte de los valores altos registrados en la estación de Montefaro no se corresponden en magnitud con los de las otras estaciones ni, por otro lado, tenemos noticia de que la prensa haya informado de vientos fuertes durante esos días, lo que lleva a pensar que estos registros no están corregidos en altura. Sin embargo, las direcciones de racha correspondientes son muy similares.

$$V_{10} = V_h \left(\frac{10}{h} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (4.1)$$

- V_{10} es la velocidad equivalente a 10 metros de altura
- V_h es la velocidad a la altura considerada
- h es la altura a la que se realiza la medición.

126

color violeta. Vamos a descartar aquellos valores marcados en gris debido a la gran diferencia con el resto de las estaciones.

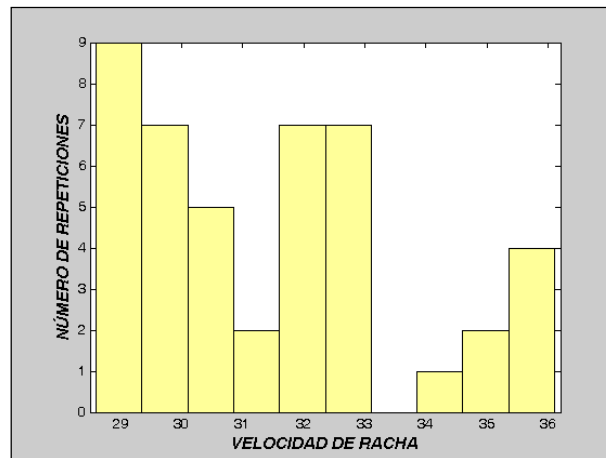


Figura 4.17 Repeticiones / Velocidad. Fuente: Autor

Analizando las velocidades máximas que componen los 44 datos restantes en *Matlab*, podemos obtener fácilmente un gráfico como el de la figura 4.17 que muestra, en intervalos de velocidad, el número de repeticiones de estos episodios en el tiempo considerado. Del mismo, podemos deducir:

- La máxima velocidad registrada ha alcanzado un valor 36,1 m/s (130 km/h) durante el paso del ciclón Hortensia.
- Se han localizado un total de seis episodios con valores comprendidos entre el mencionado valor y 35 m/s (126 km/h) a lo largo de los 37 años estudiados.
- Todos los datos estudiados poseen una dirección asociada comprendida entre los valores determinados anteriormente, con una sola excepción (ciclón Hortensia), en la que la estación de A Coruña registró una dirección de racha de 340°, que supera en 20° el límite que habíamos fijado (de 160° a 320°).
- El valor medio de la dirección (238°) es inferior al obtenido anteriormente (245,16°), equivalente a OSO, lo que indica que la mayor densidad de datos se desplaza ligeramente hacia el Sur. Sin embargo, este punto sigue siendo muy similar al punto medio entre los límites fijados (240°), lo que nos confirma que la distribución de los mismos continúa siendo tan uniforme como la anterior. Este dato puede comprobarse en el gráfico anterior, observando que el valor de probabilidad correspondiente a 240° se encuentra muy próximo al 50%.
- Si analizamos esta distribución por cuadrantes, obtendremos el resultado siguiente:
 - ✓ Primer cuadrante: Ningún registro (0%).
 - ✓ Segundo cuadrante: 2 episodios (4,5 %).
 - ✓ Tercer cuadrante: 30 episodios (68,2 %).
 - ✓ Cuarto cuadrante: 12 episodios (27,3 %).

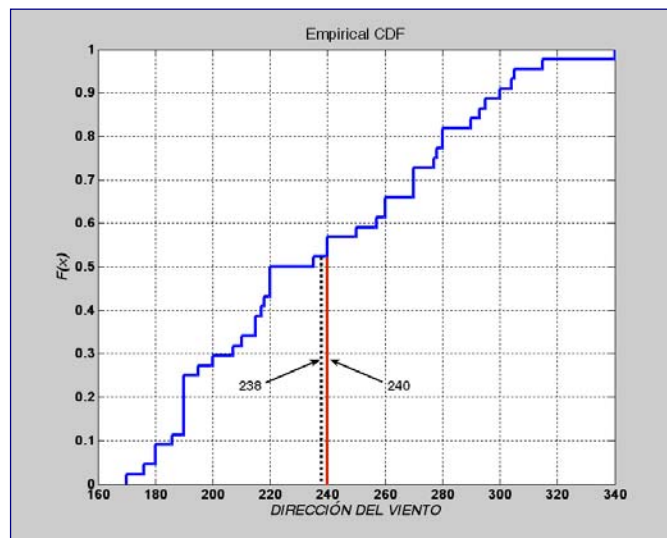


Figura 4.18 Gráfico de direcciones de racha. Fuente: Autor

ESTACIÓN	DÍA	MES	AÑO	VELOCIDAD		DIRECCIÓN
				m/s	km/h	
A GRAÑA + COR.+ CIS	21	9	2006	33	119	210
MONTEFARO	23	1	2001	33	119	290
A CORUÑA + ALVEDRO	15	10	1987	33,1	119	220
ALVEDRO	2	3	1975	33,9	122	180
ALVEDRO	26	3	2006	35	126	220
DIQUE+COR+ALV	14	1	2010	35,3	127	294
DIQUE+GRA+COR+ALV	23	1	2009	35,6	128	250
ALVEDRO	11	12	1978	35,6	128	250
COR. DIQUE + COR	24	1	2009	35,8	129	270
A CORUÑA	4	10	1984	36,1	130	340

Figura 4.19 Vientos de máxima intensidad. Fuente: Autor

- En la tabla de la figura 4.19 pueden verse los 10 episodios en los que se registraron las mayores velocidades de viento.

A la vista de este análisis, podemos concluir que **nuestros amarres habrán de calcularse para una velocidad de 130 km/h (36,1 m/s), sin perjuicio de los coeficientes de seguridad aplicables.**

Este valor concuerda con la bibliografía consultada, especialmente Cabalar (2004, p. 110) que fija exactamente la misma cifra en A Coruña, destacando que su estudio comienza en 1961, es decir, 13 años antes que el nuestro.

Las tablas y los cálculos asociados que han sido necesarios para la elaboración de esta sección, se encuentran disponibles dentro del Anexo 4.7.

4.2.4 ANÁLISIS DE ESTACIONALIDAD Y FRECUENCIA

Una vez conocidos tanto el rango de direcciones como los módulos de velocidades de viento con los que los temporales pueden afectar a los buques amarrados a nuestros muelles, resulta interesante también averiguar en qué época del año y con qué frecuencia anual se producen los mismos.

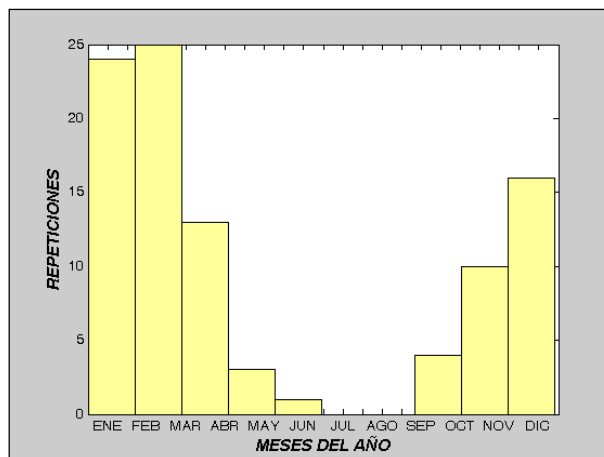


Figura 4.20 Vientos mayores de 88 km/h. Distribución mensual. Fuente: Autor

Para ello, tomaremos los datos incluidos en el Anexo 4.4 y representados en la figura 4.6, correspondientes a los 96 episodios registrados cuya velocidad supera los 24,5 m/s (88 km/h) y los ordenaremos según la época del año en que se han producido.

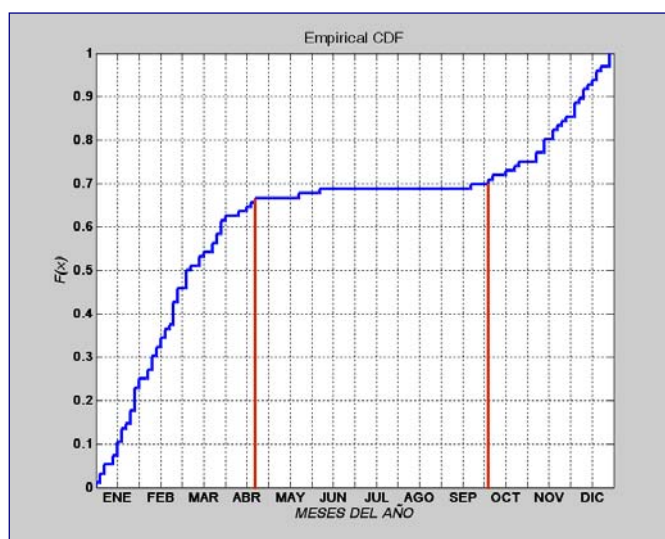


Figura 4.21 Vientos mayores de 88 km/h. Distribución mensual (probabilidad). Fuente: Autor

Tal y como exponen en su trabajo Martí y Pérez (1997) acerca de la repercusión de los temporales sobre la actividad pesquera en Galicia, se comprueba que más del 90% de los mismos, que conllevan vientos de más de 60 km/h y olas de más de 6 m. de altura, tienen lugar durante el **período octubre-marzo**.

En la figura 4.21 puede apreciarse que escasamente el 5% de estos fenómenos se producen entre mediados de abril y finales de septiembre.

Esta distribución es prácticamente idéntica a la que resulta de analizar las borrascas (>103 km/h) representada en la figura 4.22. Cabe destacar que durante los meses del verano la actividad registrada es prácticamente nula (un solo episodio registrado en los 37 años estudiados). Si incrementamos el valor límite de la velocidad de 103 a 108 km/h, no encontraremos ningún episodio entre los meses de abril y octubre.

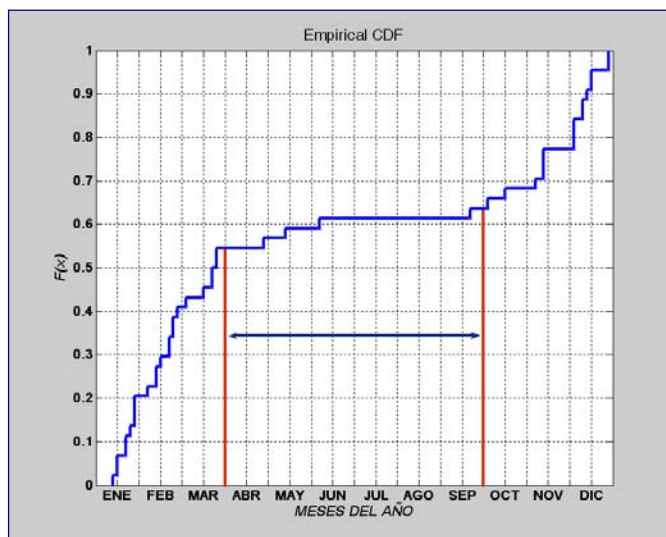


Figura 4.22 Distribución mensual de las borrascas (probabilidad). Fuente: Autor

El Departamento de Geografía de la Universidad de Santiago (Martí, García y Miragaya, 1998, p.266) cita a Olcina (1994) para afirmar que *“esta distribución se vincula a la mayor intensidad que adquieren las circulaciones de alto índice en esta época del año, que son las que determinan el mayor porcentaje de episodios con vientos fuertes. Por el contrario, la menor frecuencia e intensidad de las rachas extremas se producen durante los meses estivales, cuando las altas presiones dominan el espacio sinóptico peninsular”*.

Resulta interesante conocer también la frecuencia anual con la que se repiten estos fenómenos. El cálculo de la misma es bien sencillo si tenemos en cuenta que habíamos detectado 96 episodios de vientos mayores de 88 km/h, lo que supone una media, en el intervalo 1974-2011, de 2,6 fenómenos anuales.

Para vientos más fuertes (mayores de **103 km/h**) dentro del mismo intervalo, la media anual se reduce a 1,2 (44 episodios en 37 años), es decir que, aproximadamente, **el viento alcanzará este valor una vez al año**.

Como etapa final de nuestro estudio, observaremos la evolución que han tenido los episodios registrados a lo largo de los años con el fin de establecer una posible tendencia a su incremento o disminución. Manuel Cabalar (2004, p.109) indica que *“tanto el número de episodios de temporal como su duración experimentaron un descenso, en especial en los últimos 15 o 20 años”*.

Si relacionamos el número de borrascas de las que tenemos datos de acuerdo con las fechas en las que se produjeron (véase la figura 4.23), observamos que cuando Cabalar realizó su estudio en 1998, efectivamente existía una clara tendencia a su disminución, especialmente marcada por la escasez de

registros entre los años 1990 y 2000. Sin embargo, y a partir de entonces, la tendencia observada no difiere de la registrada durante el periodo 1974-1989.

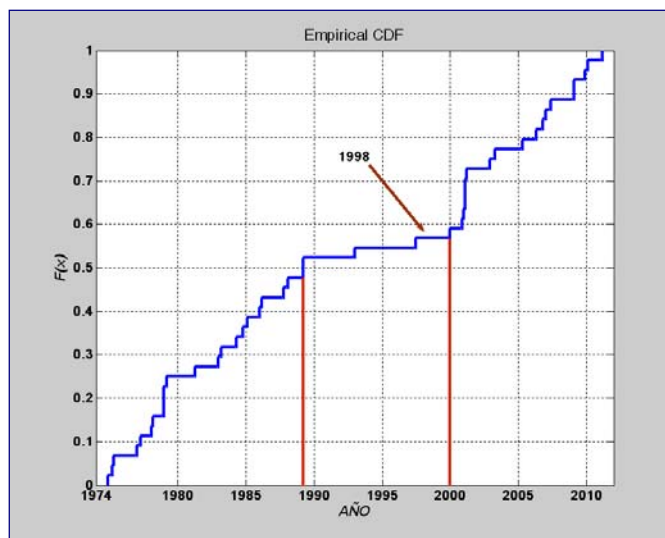


Figura 4.23 Evolución anual. Fuente: Autor

El cuadro representado en la figura 4.24 resalta, a modo de resumen, las conclusiones obtenidas en este capítulo que nos servirán para evaluar el riesgo de los buques amarrados en nuestros muelles.

RANGO DE DIRECCIONES DE LOS VIENTOS FUERTES	160° a 320°
VELOCIDAD DEL VIENTO PARA CÁLCULO DE AMARRES	36,1 m/s (130 km/h)
ÉPOCA DEL AÑO DE MAYOR RIESGO	OCTUBRE A MARZO
FRECUENCIA DE LOS VIENTOS MUY FUERTES (> 103 km/h)	1 VEZ AL AÑO ⁸⁴

Figura 4.24 Tabla Resumen. Fuente: Autor

4.3 LAS CORRIENTES EN LA RÍA DE FERROL

La Ría de Ferrol está orientada siguiendo la dirección Este-Oeste y se caracteriza, fundamentalmente, por la presencia de un canal angosto de sólo 500 m de ancho, 2 km de largo y 20 m de profundidad, conocido como Estrecho de Ferrol, que permite el acceso a una ría amplia que ocupa una superficie de 21 km², una longitud de 15 km y un volumen que varía entre 0,21 km³ en marea baja y 0,29 km³ en marea alta.

La parte interior de la ría se distingue por la ausencia de islas y un profundo calado que permite el acceso de grandes buques al Astillero y a los muelles comerciales. Se extiende hasta la desembocadura del río Xubia, que constituye el principal aporte de agua dulce a la misma. El caudal vertido por éste tiene su máximo en los meses de enero y febrero y el mínimo durante agosto y septiembre (Río y Rodríguez,

⁸⁴ Considerando una distribución estadística uniforme.

1996, pp. 178-180) y es muy bajo ($5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ de media anual) si lo comparamos con otras rías gallegas, lo que implica que su influencia en las corrientes de la ría se limita a las zonas más internas y, a la vez, menos profundas de la misma, ya cerca de su desembocadura (Álvarez, 2005, p. 76).

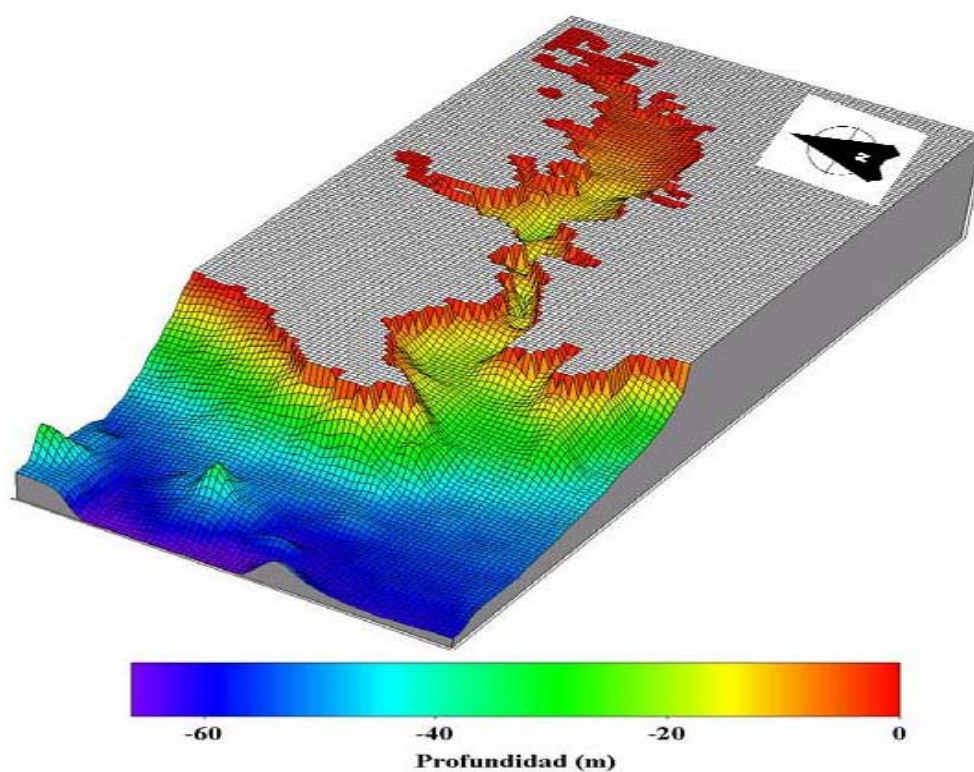


Figura 4.25 Batimetría de la Ría de Ferrol. Fuente: Álvarez, 2005, p.69

Como consecuencia de ello, el principal mecanismo responsable de la generación de corrientes en la ría es la acción de la marea. La estrechez del canal de acceso a la Ría de Ferrol le confiere una particular distribución de las mismas en su interior. Sin embargo, esta característica no es óbice para que las alturas y la fase de mareas sean las mismas que en el exterior de la Ría, lo que da idea de que el estrechamiento no es tan acusado como el que pudiera deducirse a primera vista.

De acuerdo con el Derrotero de la Costa NO de España, publicado por el Instituto Hidrográfico de la Armada, las mayores velocidades de corriente en el interior de la Ría se dan cuatro horas después de la bajamar. La figura 4.26 trata de representar las velocidades máximas (en m/s) durante la subida de marea en el interior de la ría, lugar donde están situados los Astilleros. Puede apreciarse fácilmente que el módulo de velocidad descende al alejarse del canal, siendo una consecuencia lógica del teorema de *Bernoulli* que describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Módulos similares de velocidad, aunque, lógicamente, con diferente sentido, se describen después de la pleamar (figura 4.27). Cabe destacar que el flujo, en marea ascendente, fluye por la parte sur, mientras que en la costa norte se origina un reflujo en sentido contrario que va disminuyendo en intensidad, hasta anularse en la pleamar. A partir de este momento, el reflujo es predominante en toda la ría, tirando hacia la boca hasta la hora de la bajamar.

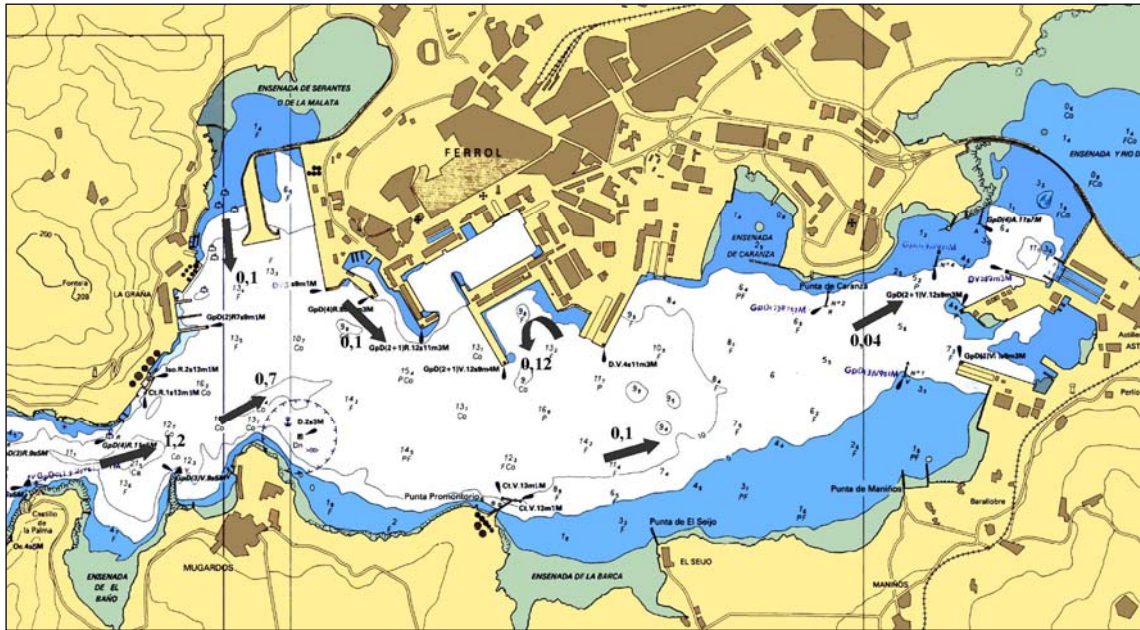


Figura 4.26 Velocidades máximas con marea ascendente. Fuente: Autor

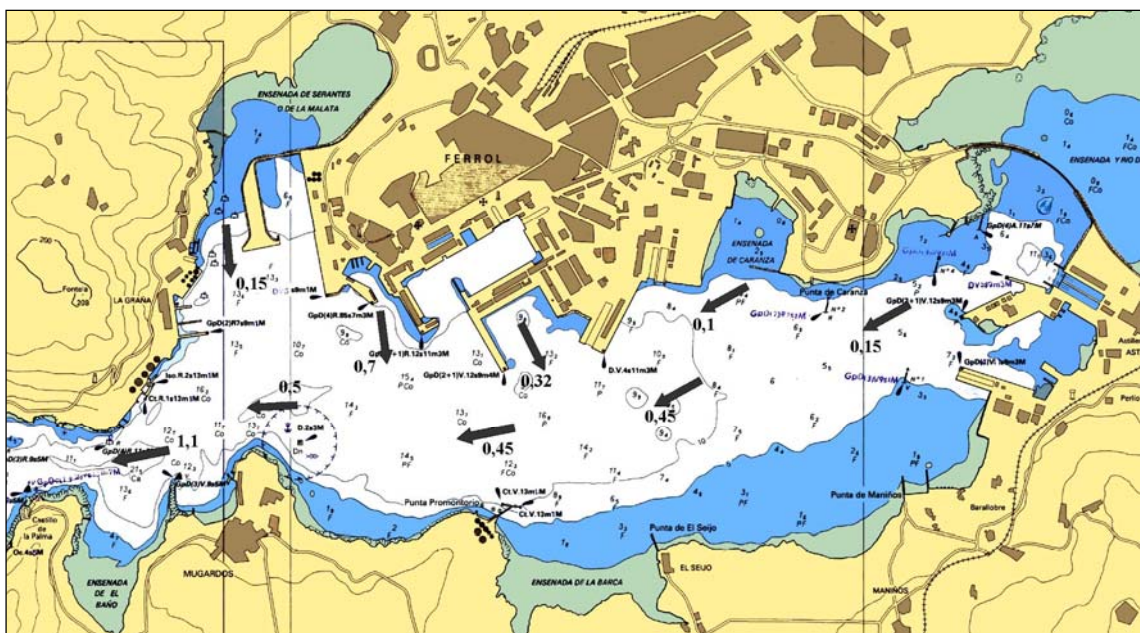


Figura 4.27 Velocidades máximas con marea descendente. Fuente: Autor

La distribución de velocidades indicada por el Instituto Hidrográfico de la Armada es muy similar a la obtenida en un análisis realizado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en el año 2008 con el fin de comparar las medidas de campo con las obtenidas mediante modelación numérica y, de esta forma, validar este método, para lo que se han instalado sensores de velocidad a distintas profundidades en ocho zonas cercanas al canal de entrada (García y Martín, 2008, p. 118).

Pueden apreciarse claramente en la figura 4.28, representativa de la situación de marea ascendente, los módulos altos de velocidad obtenidos en la zona más angosta del canal de entrada. Sin embargo, en las

inmediaciones de la costa y, por lo tanto, de los muelles utilizados para la reparación de buques (encuadrados en color rojo), los valores obtenidos se encuentran por debajo de 0,4 m/s.

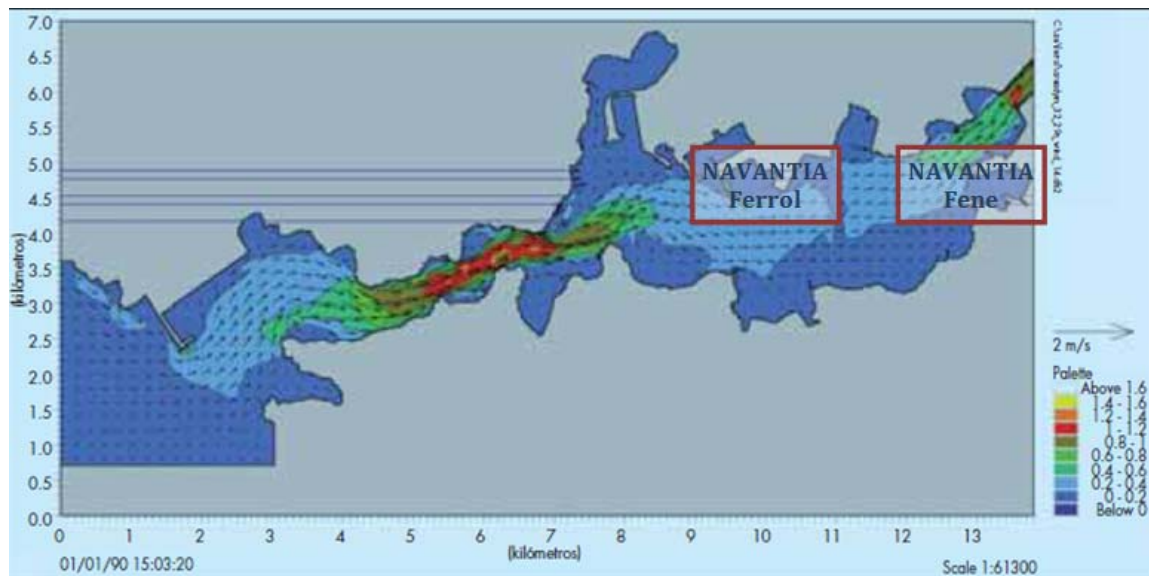


Figura 4.28 Velocidades con marea ascendente. Fuente: García y Martín, 2008, p. 118

Es también destacable la mayor influencia del río en esta distribución de las corrientes si lo comparamos con las velocidades definidas por el Instituto Hidrológico de la Armada. Sin embargo, ambas fuentes coinciden en que en la zona más estrecha del canal, la intensidad de la corriente no llega a sobrepasar 1,5 m/s.

Prácticamente, la situación es idéntica en marea descendente (figura 4.29), aunque las velocidades indicadas en la desembocadura del río son ligeramente superiores, afectando de forma muy somera al muelle número 10 de Navantia Fene, donde se indican valores de 0,6 a 0,8 m/s.

Tal y como indicamos en la introducción de este capítulo, la OCIMF establece unas condiciones mínimas que han de ser tenidas en cuenta como base para el cálculo de amarres (OCIMF, 2008, p. 32).

En lo referente a las corrientes marinas, dicha publicación señala los módulos siguientes:

- 3 nudos (1,5 m/s) en sentido longitudinal.
- 2 nudos (1 m/s) a 10° por la proa y por la popa.
- 0,75 nudos (0,4 m/s) en sentido transversal.

A la vista de los gráficos resultantes de las dos fuentes de referencia, puede concluirse que la corriente en la Ría de Ferrol está lejos de alcanzar estos valores en la zona de los muelles de amarre de los buques en reparación, por lo que, para el cálculo de nuestros amarres (figura 4.30), aplicaremos estrictamente las recomendaciones indicadas por la OCIMF al respecto (OCIMF, 2008, p. 32).

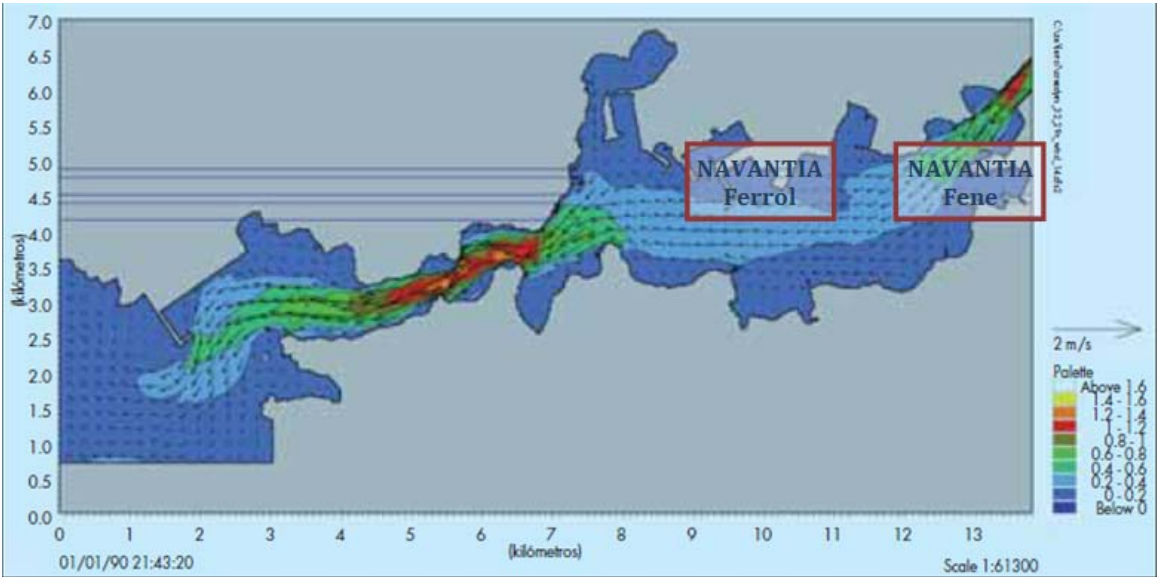


Figura 4.29 Velocidades con marea descendente. Fuente: García y Martín, 2008, p. 118

CORRIENTES MARINAS	
DIRECCIÓN	VELOCIDAD
0° y 180°	3 nudos
10° y 170°	2 nudos
90°	0,75 nudos

Figura 4.30 Tabla resumen. Fuente: Autor

CAPÍTULO V: CÁLCULO DE AMARRES Y PROPUESTAS DE MEJORA

5.1 INTRODUCCIÓN

La recepción de un comunicado de una alerta meteorológica traerá consigo la incertidumbre de que los amarres de los buques que tenemos en el Astillero sean capaces de soportar las condiciones anunciadas. A diferencia de las terminales de crudo y gas, donde, debido a la peligrosidad de los productos que se transfieren, es necesario realizar un estudio de compatibilidad previo que, entre otros aspectos, certifique que el amarre del buque puede soportar unas condiciones establecidas, en el mundo de las reparaciones navales, el Astillero no se encuentra en disposición de imponer tal exigencia. La gran competitividad que distingue este mercado hace que esta evaluación se convierta, por el contrario, en un servicio más a ofrecer al cliente.

Si unimos este factor al hecho de que las alertas meteorológicas se difunden, en condiciones normales, uno o dos días antes de la fecha de ocurrencia del fenómeno que predicen, el tiempo disponible para la realización de forma manual de los cálculos de amarre de cada uno de los buques presentes en el Astillero y la puesta en práctica de las acciones correctivas que pudieran derivarse de los mismos, es muy escaso, especialmente cuando el número de unidades alcance la cifra de siete u ocho buques. Es por ello que se hace necesario disponer de una herramienta de ayuda para el análisis de las disposiciones de amarre.

Aunque existen en el mercado varios programas de software específicos para el estudio de amarres de buques, tales como *Optimoor*

⁸⁵ y *DBSHIP*⁸⁶, desafortunadamente no satisfacen de manera plena nuestras necesidades porque de una parte, desde un punto de vista económico, es necesario el abono de licencias para su uso y de otra, quizás más relevante, porque se considera que el informe final que generan estas herramientas informáticas no es claro ni resulta de gran ayuda para la toma de decisiones.

Por estas razones, se hizo necesario plantear la conveniencia de desarrollar un programa de cálculo *ad hoc* adaptado a las necesidades del Astillero que diese respuesta a todos y cada uno de los siguientes objetivos:

1. Rapidez en la obtención de resultados, con el fin de destinar el menor número de recursos posible.
2. Requerimientos mínimos de formación para el manejo del programa, con el objeto de que el abanico del personal que lo pudiese utilizar fuera lo más amplio posible.
3. Veracidad de los resultados obtenidos, que habrán de validarse por comparación con el software especializado.

⁸⁵ Programa de cálculo de amarres desarrollado por *Tension Technology International Ltd.*

⁸⁶ Diseñado por el departamento *Maritime Simulation & Software Group* de la compañía holandesa MARIN (msg@marin.nl).

4. Facilidad para la realización de análisis posteriores en el caso de que no se cumplieran las condiciones requeridas, con el fin de permitir que sirviera de ayuda para la toma de decisiones.
5. Elaboración de un informe final claro que pudiera ser entendido por personas ajenas al cálculo (capitanes, inspectores, etc.).

Finalmente, teniendo presentes los objetivos antes mencionados, se diseñó un programa de cálculo utilizando un libro de Microsoft Excel con la intención de que el trabajo en el mismo pueda aprenderse con facilidad con una mínima formación ofimática, de acuerdo con nuestro segundo objetivo. Este libro está compuesto de varias hojas, ordenadas de acuerdo a la siguiente estructura:

1. INCORPORACIÓN DE DATOS GENERALES.
2. CÁLCULO DE FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO Y LA CORRIENTE.
3. INCORPORACIÓN DE DATOS DEL AMARRE.
4. SISTEMA DE DEFENSAS.
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

A continuación, relataremos los pasos a seguir para la consecución de dicho cálculo siguiendo un ejemplo práctico, que puede encontrarse de forma íntegra en el fichero “*AMARRE LNG BAYELSA EN MUELLE 14*”, incluido en el Anexo 5.1.

5.2 INCORPORACIÓN DE DATOS GENERALES

En la primera hoja de nuestro libro de cálculo hemos de introducir los datos siguientes:

- Fecha.
- Número de revisión con el fin de conseguir identificar las posibles variaciones en la disposición de amarras.
- Nombre del buque.
- Tipo (LNG, petrolero, carga general, etc.).
- Eslora total.
- Eslora entre perpendiculares.
- Manga.
- Puntal.
- Peso muerto.
- Forma exterior del buque (más adelante analizaremos en detalle este dato).
- Material de construcción de las amarras (aspecto relevante debido a su influencia en los coeficientes de seguridad).

DOCUMENTO / DOCUMENT					
Fecha de emisión / <i>Issue date</i> :	18-jul-13		Revisión / <i>Revision</i> :	00	
BUQUE / SHIP					
Nombre buque : <i>Vessel name</i> :	LNG BAYELSA		Tipo / <i>Type</i> :	LNG TANKER	
Características pples.: <i>Main Particulars</i> :	ESLORA TOTAL <i>LENGTH O.A.</i>	ESLORA PP <i>LENGTH PP</i>	MANGA <i>BREADTH</i>	PUNTAL <i>DEPTH</i>	PESO MUERTO <i>DEADWEIGHT</i>
	289 m.	274 m.	48 m.	27 m.	79822 MT
Forma del buque: <i>Ship's shape</i> :	CUBIERTA CONVENCIONAL <i>CONVENTIONAL DECK</i>	ESFÉRICOS SPHERICAL	CON CUBIERTA ELEVADA (TRUNK) <i>WITH TRUNK DECK</i>		
		X			
Material de fabricación de las amarras: <i>Mooring lines material</i> :	Alambre / <i>Wire</i>		Polyamida / <i>Polyamide</i>		Sintéticas / <i>Synthetic</i>
	X				

Figura 5.1 Incorporación de datos generales. Fuente: Autor

También habremos de identificar el muelle de amarre, indicando el número correspondiente, el centro de trabajo de Navantia (Ferrol o Fene) y el costado de atraque. Las dos primeras variables se definen con la ayuda de listas desplegables.

MUELLE / BERTH					
Muelle : <i>Berth</i> :	14	Centro: <i>Centre</i> :	FERROL	Orientación : <i>Course</i> :	26 °
Características pples.: <i>Main Particulars</i> :	LONGITUD TOTAL <i>LENGTH O.A.</i>	CALADO EN B.M.V.E. <i>DRAFT ON LOWEST W.L.</i>	NIVEL EN CORONAMIENTO <i>LEVEL AT BERTH TOP</i>	VIENTOS FUERTES <i>STRONGEST WINDS</i>	
	554 m.	9 m.	+ 6,0 m.	DE SUR A NOROESTE <i>FROM SOUTH TO NORTHWEST</i>	
Costado de amarre: <i>Side alongside</i> :	BABOR A MUELLE <i>PORT SIDE ALONGSIDE</i>		ESTRIBOR A MUELLE <i>STARBOARD SIDE ALONGSIDE</i>		
	X				

Figura 5.2 Incorporación de datos del muelle. Fuente: Autor

MUELLE		FERROL						FENE			REGAN.
		7	9	10	11	12	14	10	11	12	
ORIENTACIÓN [en °]	ATR. Br.	240	150	60	330	150	26	244	288	108	279
	ATR. Er.	60	330	240	150	330	206	64	108	288	99
LONGITUD [en m]		513	264	481	403	499	554	400	553	255	643
CALADO EN B.M.V.E. [en m]		8,0	9,5	9,5	10,5	11,5	9,0	7,0	7,0	7,0	12,5
NIVEL CORONAMIENTO [en m]		+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	+ 5,5	+ 6	+ 6	+ 6

Figura 5.3 Datos generales de los principales muelles de Navantia Ría de Ferrol. Fuente: Autor

Es necesario indicar que las celdas donde el operador necesita cambiar datos se encuentran sombreadas en color amarillo, de tal forma que las restantes no pueden modificarse o se cubren de forma automática. El programa rellenará los parámetros particulares del muelle seleccionado, tales como su orientación,

longitud, calado y altura de la pleamar máxima del año desde la superficie del agua hasta su coronamiento, trasladando los datos incluidos en la tabla de la figura 5.3.

Insertará también un gráfico de acuerdo al estudio realizado en el capítulo anterior, que contiene el histórico de los vientos fuertes que se han originado en las inmediaciones del puerto de Ferrol así como la orientación del muelle. Esta conjunción (figura 5.4) nos dará una idea de la exposición al riesgo que tiene el buque en el muelle seleccionado.

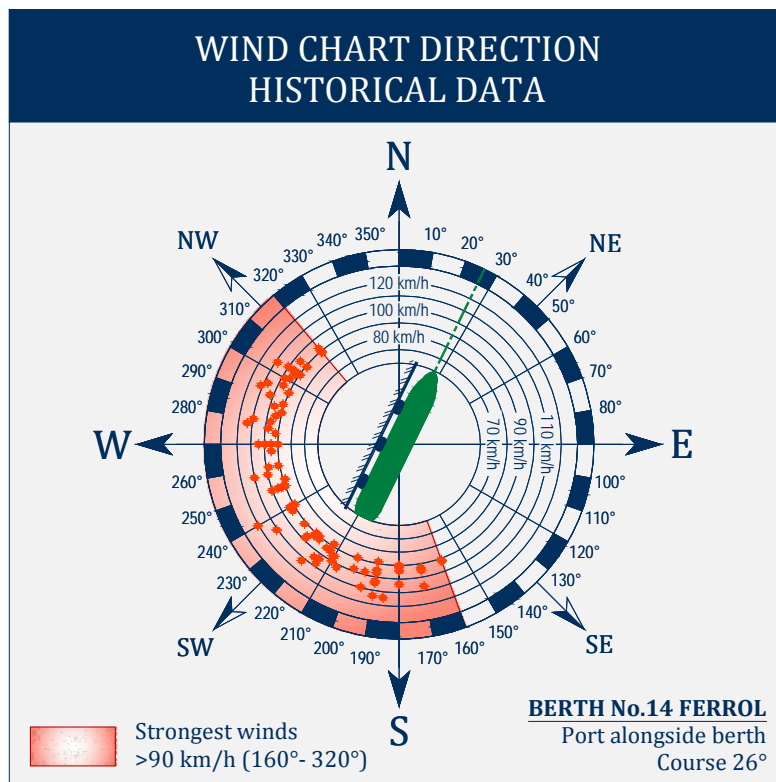


Figura 5.4 Gráfico de vientos fuertes. Fuente: NRFF

5.3 CÁLCULO DE LAS FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO Y CORRIENTES

Las fuerzas debidas a la acción del viento y de la corriente dependen en gran medida de las características aerodinámicas e hidrodinámicas del buque y varían, de forma genérica, con el tipo y tamaño de barco considerado. Atendiendo a razones tanto de probabilidad como de severidad del riesgo, hemos seleccionado para nuestro estudio los tipos de buque de transporte de gas y los VLCC⁸⁷ (*Very Large Crude Carriers*) por dos motivos fundamentales:

1. Poseen una gran superficie de obra muerta expuesta al viento (*LNG's*) y de obra viva expuesta a la corriente (*VLCC's*) que da lugar a fuerzas de gran magnitud.

⁸⁷ El tamaño de los VLCC's está normalmente comprendido entre 250000 y 320000 dwt (toneladas de peso muerto).

2. Son los tipos de buque que mayoritariamente reparan en las instalaciones de NRFF.

Como mencionamos al principio del capítulo, los armadores de estos buques, previo al atraque en una terminal de gas o petróleo, están obligados a realizar un estudio de compatibilidad muelle-buque que ha de cumplir las directrices, internacionalmente reconocidas, de OCIMF y SIGGTO. Nuestros cálculos, por razones obvias, estarán basados en estas mismas recomendaciones, para lo que tendremos siempre como referencia las dos publicaciones siguientes:

- a. **Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers** (SIGTTO, 2007).
- b. **Mooring Equipment Guidelines** (OCIMF 3rd ed. 2008).

Los procedimientos de cálculo de las fuerzas originadas por la acción del viento y la corriente, que se siguen en estas publicaciones, se basan en métodos empíricos desarrollados a partir de experiencias en túneles de viento que han sido reproducidos utilizando modelos matemáticos. Es destacable la simplicidad de cada uno de los procesos y, muy especialmente, de los resultados obtenidos, que se presentan resumidos en una imagen del buque influenciado por la magnitud de tres fuerzas:

- F_X : Fuerza longitudinal.
- F_{YA} : Fuerza transversal en la perpendicular de popa.
- F_{YF} : Fuerza transversal en la perpendicular de proa.

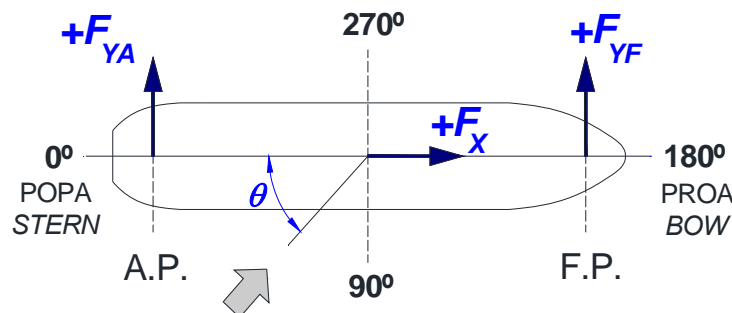


Figura 5.5 Fuerzas resultantes. Fuente: Autor

Este esquema tiene su razón de ser en que los tipos de buques mencionados se amarran por los extremos de proa y popa, con lo que es sencillo deducir que la fuerza longitudinal resultante ha de ser absorbida por los *springs* y largos en ambas direcciones, que la fuerza transversal en la perpendicular de popa será soportada por los traveses y largos de popa y la fuerza transversal en la perpendicular de proa por los correspondientes traveses y largos de proa. A la vista de los resultados finales, no será tarea difícil la identificación, en caso necesario, de aquellas líneas de amarre que fuera necesario reforzar.

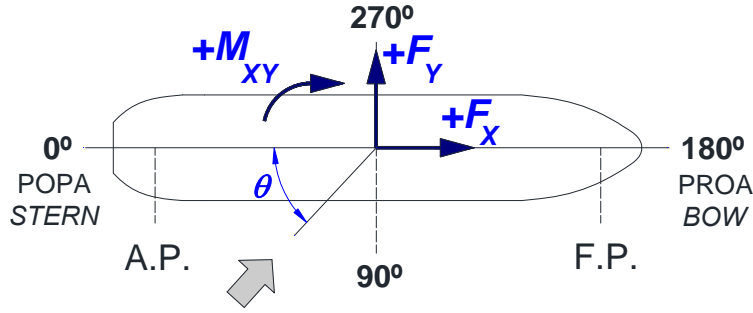


Figura 5.6 Fuerzas y momento resultantes. Fuente: Autor

Las fuerzas transversales en ambas perpendiculares (F_{YA} y F_{YF}) se obtienen al descomponer la fuerza transversal total aplicada al buque (F_Y) y el momento originado (M_{XY}) por el ángulo de ataque, tanto de viento (θ_w), como de corriente (θ_c). Dicho momento se aplica en la intersección de la línea de crujía con la sección media del buque. Por lo tanto, siendo L_{BP} la eslora entre perpendiculares, dichas fuerzas tendrán el siguiente valor:

$$F_{YA} = \frac{F_Y}{2} - \frac{M_{XY}}{L_{BP}} \quad (5.1)$$

$$F_{YF} = \frac{F_Y}{2} + \frac{M_{XY}}{L_{BP}} \quad (5.2)$$

La diferencia de magnitud entre las fuerzas transversales de proa y popa viene determinada por los distintos coeficientes tanto aerodinámicos como hidrodinámicos que poseen las formas del buque en sus extremos. De esta manera, el posicionamiento de la habitación en popa tiene un efecto claro en la distribución de fuerzas debidas a la acción del viento, provocando una mayor reacción en esta zona, mientras que la forma del bulbo influye en la distribución de fuerzas originadas por la corriente.

Cada una de las fuerzas indicadas en la figura 5.5 será la suma de aquellas originadas por la acción de viento y de la corriente. Si distinguimos los subíndices **w** para el efecto del viento y **c** para el de la corriente, obtendremos:

$$F_X = F_{Xw} + F_{Xc} \quad (5.3)$$

$$F_{YA} = F_{YA w} + F_{YA c} \quad (5.4)$$

$$F_{YF} = F_{YF w} + F_{YF c} \quad (5.5)$$

5.3.1 ACCIÓN DEL VIENTO

Las publicaciones de referencia definen tres coeficientes no dimensionales de resistencia del buque a la acción del viento, los cuales son función del ángulo de ataque respecto a la línea de crujía (θ_w) y de la figura o tipo de buque seleccionado. Dichos coeficientes son:

- C_{Xw} – Coeficiente de resistencia longitudinal

- C_{Yw} – Coeficiente de resistencia transversal
- C_{XYw} – Coeficiente de momento

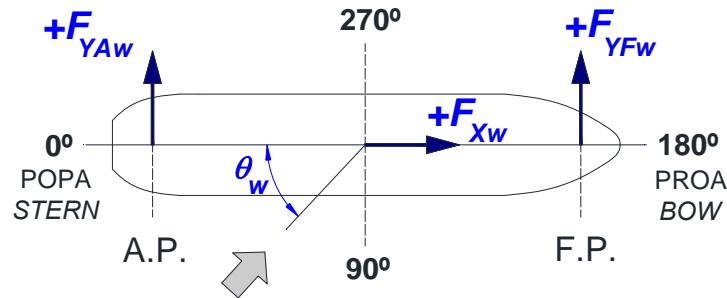


Figura 5.7 Fuerzas resultantes provocadas por el viento. Fuente: Autor

El cálculo de las fuerzas y momentos correspondientes se encuentra relacionado con estos coeficientes de acuerdo a las fórmulas siguientes:

Fuerza longitudinal del viento	$F_{Xw} = C_{Xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T$	(5.6)
Fuerza transversal del viento	$F_{Yw} = C_{Yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L$	(5.7)
Momento generado por el viento	$M_{XYw} = C_{XYw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L L_{BP}$	(5.8)

Figura 5.8 Fuerzas y momentos generados por la acción del viento. Fuente: Autor

Donde:

- ρ_w es la densidad del aire, que considerada a 20° C tiene un valor de 0,1248 kg.seg²/m⁴.
- V_w es la velocidad del viento en nudos a considerar.
- A_T es el área transversal del buque en m² expuesta a la acción del viento (por encima de la línea de flotación)
- A_L es el área medida en sentido longitudinal en m² expuesta a la acción del viento.
- L_{BP} es la eslora entre perpendiculares, en metros.

De esta forma, las fuerzas obtenidas vendrán indicadas en toneladas métricas y el momento en toneladas por metro.

Tal y como hemos mencionado anteriormente, estos coeficientes son función del tipo de buque, relacionado directamente con su figura exterior. Así, distinguiremos los tres grupos siguientes:

- **TANQUES ESFÉRICOS:** Para los buques LNG cuyos tanques de carga han sido diseñados como esferas de aluminio (tipo *Moss*).



Figura 5.9 LNG Galea en el muelle 9 de Ferrol. Fuente: Archivo NRFF

- CUBIERTA ELEVADA: Para buques LNG con tanques de carga prismáticos, que siguen las patentes de GTT (sistema de contención de carga por membranas).



Figura 5.10 LNG Madrid Spirit en el muelle 10 de Ferrol. Fuente: Archivo NRFF

- CUBIERTA CONVENCIONAL: Que agrupa tanto a los petroleros como aquellos antiguos LNG con cubierta baja.



Figura 5.11 Petrolero British Kestrel en el muelle 9 de Ferrol. Fuente: Archivo NRFF

Los coeficientes C_{Xw} , C_{Yw} y C_{XYw} , para cada uno de los tipos de buque mencionados, y para los ángulos de ataque de 0° a 180° , tomados de 10 en 10 grados, se han extraído de la medición de las gráficas indicadas en ambas publicaciones, construyéndose una tabla como la de la figura 5.12.

TABLA DE COEFICIENTES POR LA ACCIÓN DEL VIENTO															
θ_w	TANQUES ESFÉRICOS					CUBIERTA ELEVADA					CUBIERTA CONVENCIONAL				
	C_{Xw}	C_{Yw}	C_{XYw}	C_{YAw}	C_{YFw}	C_{Xw}	C_{Yw}	C_{XYw}	C_{YAw}	C_{YFw}	C_{Xw}	C_{Yw}	C_{XYw}	C_{YAw}	C_{YFw}
0°	0,991	0,000	0,003	0,003	-0,003	0,911	0,000	0,006	0,006	-0,006	0,911	0,000	0,000	0,000	0,000
10°	1,026	-0,102	0,033	0,084	0,018	0,914	-0,162	0,055	0,136	0,026	0,914	-0,156	0,057	0,135	0,021
20°	1,023	-0,249	0,073	0,198	0,052	0,873	-0,338	0,116	0,285	0,053	0,873	-0,304	0,109	0,261	0,043
30°	0,983	-0,424	0,110	0,322	0,102	0,801	-0,518	0,171	0,430	0,088	0,801	-0,444	0,145	0,367	0,077
40°	0,893	-0,632	0,132	0,448	0,184	0,700	-0,700	0,197	0,547	0,153	0,700	-0,565	0,156	0,439	0,127
50°	0,758	-0,808	0,138	0,542	0,266	0,568	-0,832	0,196	0,612	0,220	0,568	-0,678	0,151	0,490	0,188
60°	0,527	-0,948	0,131	0,605	0,343	0,412	-0,932	0,176	0,642	0,290	0,412	-0,788	0,136	0,530	0,258
70°	0,242	-1,054	0,106	0,633	0,421	0,242	-1,000	0,145	0,645	0,355	0,242	-0,881	0,114	0,555	0,327
80°	0,101	-1,124	0,069	0,631	0,493	0,101	-1,039	0,107	0,627	0,413	0,169	-0,953	0,080	0,557	0,397
90°	0,026	-1,159	0,031	0,611	0,549	0,026	-1,052	0,067	0,593	0,459	0,277	-0,985	0,038	0,531	0,455
100°	-0,035	-1,160	-0,007	0,573	0,587	-0,035	-1,045	0,026	0,549	0,497	0,484	-0,991	-0,007	0,489	0,503
110°	-0,133	-1,133	-0,042	0,525	0,609	-0,133	-1,012	-0,006	0,500	0,512	0,467	-0,966	-0,040	0,443	0,523
120°	-0,288	-1,064	-0,074	0,458	0,606	-0,288	-0,956	-0,027	0,451	0,505	0,302	-0,897	-0,058	0,391	0,507
130°	-0,467	-0,946	-0,084	0,389	0,557	-0,467	-0,857	-0,040	0,389	0,469	0,000	-0,818	-0,064	0,345	0,473
140°	-0,651	-0,687	-0,077	0,267	0,421	-0,651	-0,687	-0,044	0,300	0,388	-0,248	-0,682	-0,062	0,279	0,403
150°	-0,816	-0,466	-0,061	0,172	0,294	-0,816	-0,466	-0,042	0,191	0,275	-0,447	-0,534	-0,053	0,214	0,320
160°	-0,911	-0,278	-0,043	0,096	0,182	-0,911	-0,278	-0,034	0,105	0,173	-0,600	-0,335	-0,043	0,125	0,211
170°	-0,991	-0,114	-0,024	0,033	0,081	-0,991	-0,114	-0,021	0,036	0,078	-0,744	-0,144	-0,023	0,049	0,095
180°	-1,026	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,026	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,862	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 5.12 Tabla de coeficientes en función de la figura del buque. Fuente: Autor

Atendiendo a la distribución de fuerzas indicada en la figura 5.7, más útil para nuestro estudio por acomodarse a la disposición de las amarras, las fuerzas originadas por la acción del viento vienen definidas por las fórmulas siguientes:

Fuerza longitudinal del viento	$F_{Xw} = C_{Xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T$	(5.9)
Fuerza lateral del viento en la P. Pp.	$F_{YAw} = C_{YAw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L$	(5.10)
Fuerza lateral del viento en la P. Pr.	$F_{YFw} = C_{YFw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L$	(5.11)

Figura 5.13 Cálculos de fuerzas. Fuente: Autor

En la mayoría de los casos, los coeficientes C_{YAw} y C_{YFw} no vienen indicados en las publicaciones de referencia, por lo que ha sido necesario proceder a su cálculo (resaltados en color rojo en la tabla 5.12) aplicando las relaciones siguientes:

$$C_{YAw} = \frac{C_{Yw}}{2} - C_{XYw} \quad (5.12)$$

$$C_{YFw} = \frac{C_{Yw}}{2} + C_{XYw} \quad (5.13)$$

Para realizar el cálculo de las fuerzas provocadas por la acción del viento en función de su ángulo de incidencia, el programa nos pedirá dos datos fundamentales, tales como las superficies expuestas a la acción del viento, tanto en la sección longitudinal del buque como en la transversal (por encima de la línea de flotación). La obtención de dichas superficies se realiza a partir del plano de disposición general del buque, que se ha de exportar a un fichero de *AutoCad* como imagen de trama. Esto nos permitirá

dibujar una polilínea siguiendo el contorno del buque. Una vez cerrada la misma, podremos conocer fácilmente la superficie buscada⁸⁸ y trasladar estos valores a las casillas correspondientes, mostradas en la figura 5.14.

(ρ_w)	Densidad del aire a 20°C Air density at 20 °C	0,1248	Kg.seg ² / m ⁴	(Vw)	Velocidad del viento en nudos Wind velocity in knots	130 km/h	70 knots
(A_T)	Area transversal emergida del casco Above water lateral hull area	1810	m ²	(A_L)	Area longitudinal emergida del casco Above water longitudinal hull area	8686	m ²
(C_{Xw})	Coeficiente longitudinal de la fuerza del viento Longitudinal wind force coefficient			(C_{YAw})	Coeficiente lateral de la fuerza del viento en la popa Aft lateral wind force coefficient		
(θ_w)	Ángulo de ataque del viento Wind angle of attack			(C_{YFw})	Coeficiente lateral de la fuerza del viento en la proa Forward lateral wind force coefficient		

Figura 5.14 Introducción de los valores de superficies y viento máximo a soportar. Fuente: NRFF

Se habrá de indicar, asimismo, el valor máximo de la velocidad de viento que deseamos que soporte el sistema de amarre, el cual, según habíamos concluido en el capítulo anterior, de forma genérica, tendrá una magnitud de 130 km/h.

BUQUES CON CUBIERTA DE TANQUES ELEVADA (TRUNK) / SHIPS WITH TRUNK DECK TANKS																			
θ_w	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
Fuerza longitudinal / Longitudinal wind force (F_{Xw})																			
C_{Xw}	0,911	0,914	0,873	0,801	0,700	0,568	0,412	0,242	0,101	0,026	-0,035	-0,133	-0,288	-0,467	-0,651	-0,816	-0,911	-0,991	-1,026
F_{Xw}	133,41	133,85	127,85	117,31	102,51	83,18	60,34	35,44	14,79	3,81	-5,13	-19,48	-42,18	-68,39	-95,34	-119,50	-133,41	-145,13	-150,26
Fuerza lateral de Popa / Lateral wind force Aft (F_{YAw})																			
C_{YAw}	0,006	0,136	0,285	0,430	0,547	0,612	0,642	0,645	0,627	0,593	0,549	0,500	0,451	0,389	0,300	0,191	0,105	0,036	0,000
F_{YAw}	4,22	95,58	200,30	302,20	384,43	430,11	451,19	453,30	440,30	416,75	385,48	351,39	316,96	273,03	210,49	134,23	73,79	25,30	0,07
Fuerza lateral de Proa / Lateral wind force Fore (F_{YFw})																			
C_{YFw}	-0,006	0,026	0,053	0,088	0,153	0,220	0,290	0,355	0,413	0,459	0,497	0,512	0,505	0,469	0,388	0,275	0,173	0,078	0,000
F_{YFw}	-4,22	18,27	37,25	61,85	107,53	154,61	203,81	249,49	289,90	322,58	348,94	359,83	354,91	329,26	272,33	193,27	121,58	54,82	0,07
Fuerza lateral / Lateral wind force ($F_{Yw} = F_{YAw} + F_{YFw}$)																			
F_{Yw}	0,00	113,85	237,54	364,05	491,95	584,72	655,00	702,79	730,20	739,34	734,42	711,22	671,87	602,29	482,82	327,50	195,38	80,12	0,14

Figura 5.15 Tabla de fuerzas resultantes. Fuente: NRFF

Con estos datos, el programa confeccionará una tabla como la de la figura 5.15, reflejando el módulo de las fuerzas resultantes en función del ángulo formado entre la dirección del viento y la línea de crujía del buque. Resaltará los valores máximos (en toneladas métricas) de cada una de ellas en color rojo. A continuación, presentará un resumen de dichos valores, con el fin de facilitar la comprensión del informe por personas ajenas a estos cálculos, mostrado en la figura 5.16.

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL DIRECTION	
Hacia popa / Aft direction	Hacia proa / Fore direction
$F_{Xw} = -150$ MT	$F_{Xw} = 134$ MT

⁸⁸ Una vez seleccionada el área de la polilínea en AutoCad, obtendremos directamente el valor de su superficie siguiendo la ruta: Menú Herramientas → Consultar → Área.

<p>ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN</p> <p>$F_{YAw} = 453 \text{ MT}$</p>
<p>ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD</p> <p>$F_{YFw} = 360 \text{ MT}$</p>

Figura 5.16 Resumen de valores máximos de fuerzas. Fuente: NRFF

5.3.2 ACCIÓN DE LA CORRIENTE

Una vez conocido el efecto de la acción del viento, tendremos que añadir las fuerzas originadas por la corriente. La magnitud de las mismas varía en función de los siguientes parámetros:

- Ángulo de ataque de la corriente: Recordemos que, de acuerdo con las conclusiones indicadas en el capítulo anterior, derivadas del estudio de corrientes en la Ría de Ferrol, los módulos y ángulos de ataque a estudiar son los indicados en la tabla de la figura 5.17.

CORRIENTES MARINAS	
DIRECCIÓN	VELOCIDAD
0° y 180°	3 nudos
10° y 170°	2 nudos
90°	0,75 nudos

Figura 5.17 Tabla resumen. Fuente: Autor

- Relación entre el calado del buque y la profundidad del muelle: Este cociente constituye la principal variable a tener en cuenta en la generación de fuerzas debidas a la corriente por el hecho de que una relación de valor 1,05 provoca fuerzas tres veces superiores si la comparamos con un valor de 3. Para nuestro estudio aplicaremos aquellas curvas más restrictivas indicadas en las publicaciones de referencia, teniendo presente que es recomendable, en el caso de buques de transporte de gas licuado, tomar como mínimo el valor de 1,1 para todas las condiciones de carga, ya que el calado de estos barcos varía muy poco durante las operaciones en las terminales (OCIMF, 2008, p.32).

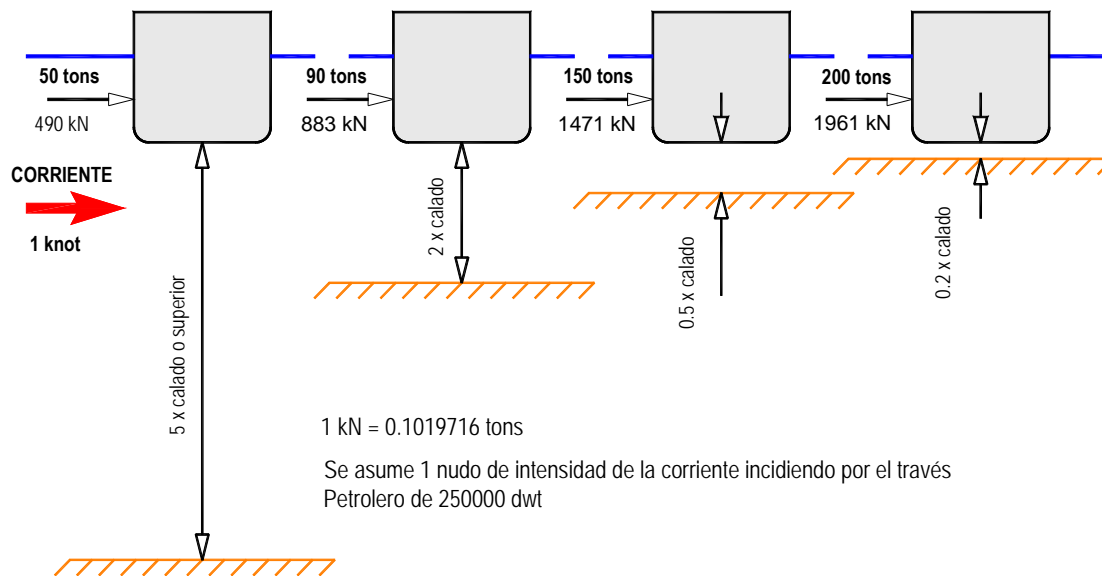


Figura 5.18 Efecto del UKC en la fuerza de la corriente transversal. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

- **Configuración del bulbo:** la OCIMF define distintos coeficientes de resistencia a la corriente en función de la forma del bulbo, distinguiendo aquel de forma cilíndrica del diseño convencional típico en el que merece destacarse su influencia relevante en el coeficiente de resistencia transversal. Al igual que en el caso del parámetro anterior, nos posicionaremos en la zona más conservadora, aplicando la forma de bulbo convencional.
- **Condición de carga:** Los coeficientes de resistencia, tanto longitudinal como transversal, son mayores cuando el buque se encuentra en su condición de carga si los comparamos con la de lastre. Sin embargo, en nuestro estudio (buques en reparación), los calados del buque no van a variar sensiblemente durante la estancia en el Astillero y, por lo tanto, sólo será necesario estudiar la condición de lastre ya que históricamente no se ha reparado ningún buque de los tipos considerados en condiciones de carga.
- **Relación eslora / manga:** El coeficiente de resistencia longitudinal tiende a incrementar su valor con la disminución de la relación eslora/manga.

La fuerza resultante de las acciones del viento y la corriente sobre el buque es la suma vectorial de ambas (5.14), y tiene su máximo cuando sus direcciones son coincidentes.

$$\vec{F} = \vec{F}_w + \vec{F}_c \quad (5.14)$$

Aunque la OCIMF solamente define cinco puntos de comprobación del sumatorio de ambas fuerzas (figura 5.17), en nuestro programa vamos considerar que en cada uno de los ángulos de ataque del viento, la corriente adopta la misma dirección y sentido que aquel, de forma que la fuerza resultante tiene una magnitud igual a la suma del valor de ambos módulos.

Con la ayuda del método de interpolación con diferencias divididas de Newton y de la herramienta matemática *Matlab*, partiendo de los cinco puntos descritos anteriormente, construimos gráficamente la curva en el rango completo desde 0° hasta 180° (figura 5.19). A partir de la misma, extraeremos los valores a intervalos de 10° con el fin de que sean coincidentes con aquellos empleados en el cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento.

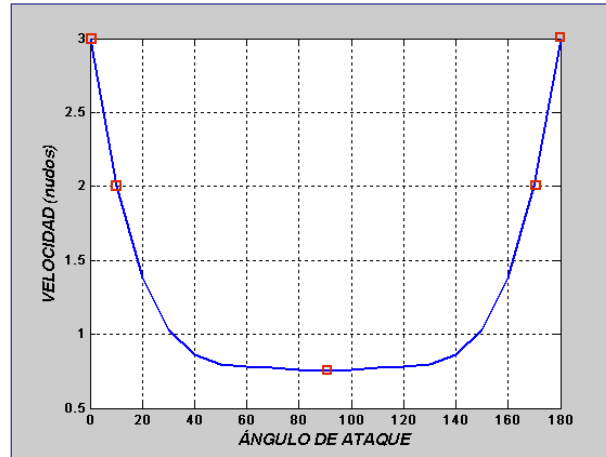


Figura 5.19 Curva de velocidades de corriente. Fuente: Autor

Las fuerzas, tanto en sentido longitudinal (F_{Xc}) como transversal (F_{Yc}), así como el momento producido (M_{XYc}) por la corriente se calculan a partir de los coeficientes no dimensionales C_{Xc} , C_{Yc} y C_{XYc} de acuerdo con las siguientes relaciones:

Fuerza longitudinal de la corriente	$F_{Xc} = C_{Xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}$	(5.15)
Fuerza transversal de la corriente	$F_{Yc} = C_{Yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}$	(5.16)
Momento generado por la corriente	$M_{XYc} = C_{XYc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}^2$	(5.17)

Figura 5.20 Fuerzas y momentos generados por la acción de la corriente. Fuente: Autor

Donde:

- ρ_c es la densidad del agua de mar, que considerada a 15° C de temperatura tiene un valor de 1025 kg/m³
- V_c es la velocidad de la corriente en nudos, variable según el ángulo de ataque, de acuerdo con la figura 5.19.
- d_c es el calado medio del buque en metros.
- L_{BP} es la eslora entre perpendiculares, en metros.

La *OCIMF* presenta estos coeficientes gráficamente dependiendo de los parámetros definidos al comienzo de esta sección, que, de forma resumida, son:

- Condición: Lastre.

- Tipo de bulbo: Convencional.
- Relación calado buque/muelle: Igual a 1.1/1.

Siguiendo el mismo proceso utilizado para el cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento, se han extraído los valores de C_{Xc} , C_{Yc} y C_{XYc} de cada una de las gráficas correspondientes a cada valor del ángulo de ataque θ_c , obteniéndose como resultado la tabla reflejada en la figura 5.21.

θ_c	C_{Xc}	C_{Yc}	C_{XYc}	C_{YAc}	C_{YFc}
0°	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000
10°	0,059	0,082	-0,015	0,056	0,026
20°	0,061	0,208	-0,035	0,139	0,069
30°	0,061	0,366	-0,056	0,239	0,127
40°	0,052	0,535	-0,072	0,340	0,196
50°	0,038	0,677	-0,081	0,420	0,258
60°	0,022	0,802	-0,075	0,476	0,326
70°	0,013	0,896	-0,060	0,508	0,388
80°	0,009	0,958	-0,034	0,513	0,445
90°	0,007	0,980	-0,005	0,495	0,485
100°	0,004	0,967	0,022	0,462	0,506
110°	0,001	0,924	0,051	0,411	0,513
120°	-0,006	0,826	0,075	0,338	0,488
130°	-0,021	0,692	0,076	0,270	0,422
140°	-0,036	0,526	0,065	0,198	0,328
150°	-0,049	0,345	0,049	0,124	0,222
160°	-0,047	0,187	0,033	0,061	0,127
170°	-0,043	0,079	0,015	0,025	0,055
180°	-0,037	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 5.21 Tabla de coeficientes de corrientes. Fuente: Autor

Los valores de C_{YAc} y C_{YFc} (marcados en rojo) se obtienen al aplicar las relaciones siguientes:

$$C_{YAc} = \frac{C_{Yc}}{2} - C_{XYc} \quad (5.18)$$

$$C_{YFc} = \frac{C_{Yc}}{2} + C_{XYc} \quad (5.19)$$

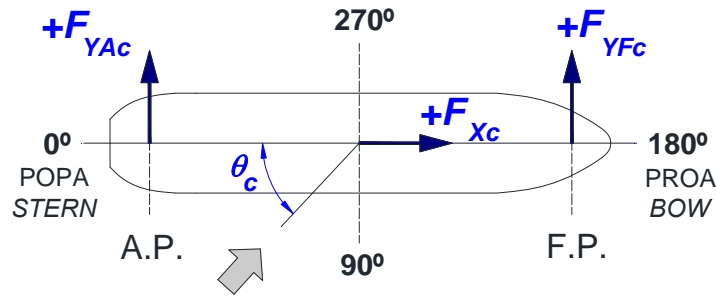


Figura 5.22 Fuerzas originadas por la corriente. Fuente: Autor

El módulo de las fuerzas representadas en la figura 5.22 (longitudinal, transversal en proa y transversal en popa) viene definido por las fórmulas indicadas en la figura 5.23, las cuales, a diferencia del cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento, son independientes del tipo de buque considerado.

Fuerza longitudinal de la corriente	$F_{Xc} = C_{Xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}$	(5.20)
Fuerza lateral de la corriente en la P.Pp.	$F_{YAc} = C_{YAc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}$	(5.21)
Fuerza lateral de la corriente en la P.Pr.	$F_{YFc} = C_{YFc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 d_c L_{BP}$	(5.22)

Figura 5.23 Fuerzas generadas por la acción de la corriente. Fuente: Autor

De acuerdo a este abanico de fórmulas y a los valores de los coeficientes indicados en la tabla de la figura 5.21, nuestro programa calculará las fuerzas debidas a la acción de las corrientes marinas en función del ángulo de ataque, resaltando en color rojo los máximos en cada una de las direcciones, tal y como se muestra en la figura 5.24. Teniendo que cuenta que la intensidad de la corriente es fija para el ángulo de ataque considerado, en este caso no resulta necesario introducir ningún dato adicional ya que la eslora entre perpendiculares se toma de los datos generales (figura 5.1) y el calado medio de la hoja Excel correspondiente al cálculo de amarre, que veremos posteriormente.

De forma similar al cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento, el programa presentará un resumen de los esfuerzos máximos en cada una de las direcciones (figura 5.25), donde puede observarse que la magnitud de los mismos es muy inferior a aquellos debidos a la acción del viento (figura 5.16).

FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DE LAS CORRIENTES MARINAS / MARINE CURRENT FORCES ON THE SHIP																			
θ_c	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
V_c	3,00	2,00	1,38	1,03	0,86	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,86	1,03	1,38	2,00	3,00
<p>VELOCIDAD DE CORRIENTE SI/ OCIMF / CURRENT SPEED ACCORDING TO OCIMF</p> <p>VELOCIDAD (NUDOS) / SPEED (KNOTS)</p> <p>ÁNGULO ATAQUE / ANGLE OF ATTACK</p>																			
Fuerza longitudinal / Longitudinal current force (F_{Xc})																			
C_{Xc}	0,055	0,059	0,061	0,061	0,052	0,038	0,022	0,013	0,009	0,007	0,004	0,001	-0,006	-0,021	-0,036	-0,049	-0,047	-0,043	-0,037
F_{Xc}	13,72	6,54	3,22	1,79	1,07	0,66	0,37	0,22	0,14	0,11	0,06	0,02	-0,10	-0,37	-0,74	-1,44	-2,48	-4,77	-9,23
Fuerza lateral de Popa / Lateral current force Aft (F_{YAc})																			
C_{YAc}	0,000	0,056	0,139	0,239	0,340	0,420	0,476	0,508	0,513	0,495	0,462	0,411	0,338	0,270	0,198	0,124	0,061	0,025	0,000
F_{YAc}	0,00	6,21	7,34	7,02	6,99	7,31	8,06	8,43	8,26	7,72	7,43	6,82	5,72	4,71	4,08	3,63	3,20	2,72	0,00
Fuerza lateral de Proa / Lateral current force Fore (F_{YFc})																			
C_{YFc}	0,000	0,026	0,069	0,127	0,196	0,258	0,326	0,388	0,445	0,485	0,506	0,513	0,488	0,422	0,328	0,222	0,127	0,055	0,000
F_{YFc}	0,02	2,88	3,65	3,73	4,03	4,49	5,52	6,44	7,16	7,56	8,13	8,51	8,26	7,36	6,75	6,50	6,68	6,04	0,02
Fuerza lateral / Lateral current force ($F_{Yc} = F_{YAc} + F_{YFc}$)																			
F_{Yc}	0,02	9,09	10,99	10,75	11,02	11,80	13,57	14,86	15,42	15,28	15,56	15,33	13,98	12,06	10,83	10,13	9,88	8,76	0,02

Figura 5.24 Fuerzas resultantes de la acción de la corriente. Fuente: NRFF

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL DIRECTION	
Hacia popa / Aft direction	Hacia proa / Fore direction
$F_{Xc} = -9$ MT	$F_{Xc} = 14$ MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN
$F_{YAc} = 8$ MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD
$F_{YFc} = 9$ MT

Figura 5.25 Resumen de valores máximos de fuerzas. Fuente: NRFF

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
Fuerza longitudinal / Longitudinal force (F_X)																			
F_X	159	157	153	146	132	112	78	36	15	4	-5	-19	-42	-69	-96	-121	-136	-150	-159
Fuerza lateral de Popa / Lateral current force Aft (F_{YA})																			
F_{YA}	2	65	146	233	322	388	433	453	452	437	410	375	328	278	191	125	71	26	0
Fuerza lateral de Proa / Lateral current force Fore (F_{YF})																			
F_{YF}	-2	16	40	75	133	191	247	302	354	393	421	436	434	399	302	213	135	63	0
Fuerza lateral / Lateral current force ($F_Y = F_{YA} + F_{YF}$)																			
F_{Yc}	0	81	186	309	455	580	680	756	805	830	831	812	762	677	494	338	205	89	0

Figura 5.26 Módulos de fuerza de viento + corriente

La página siguiente de nuestro libro presenta los módulos correspondientes a la suma de las fuerzas debidas a la acción conjunta de viento y corriente, resaltando los valores máximos en cada una de las direcciones de amarre (longitudinal, lateral de popa y lateral de proa).

Inserta también automáticamente una gráfica donde puede apreciarse la gran diferencia de magnitud entre las fuerzas transversales y longitudinales.

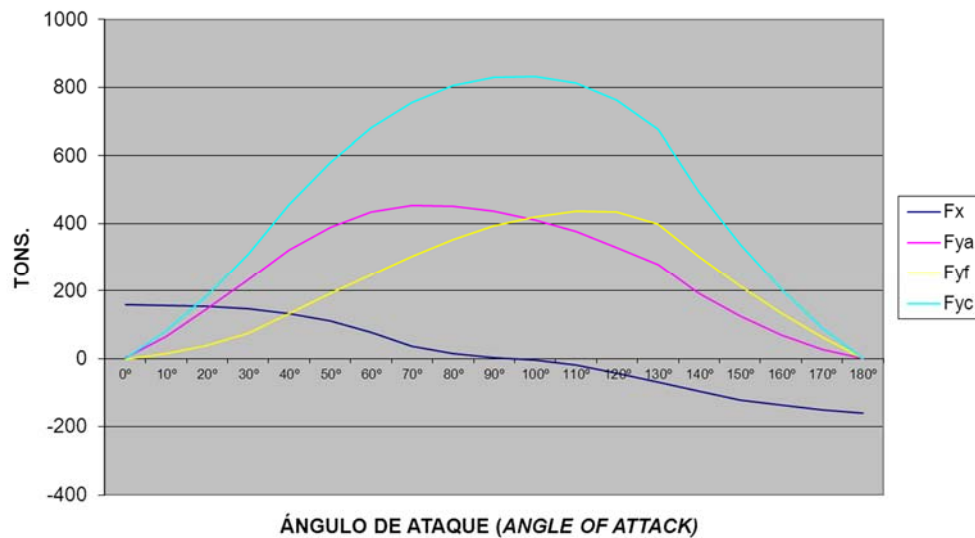
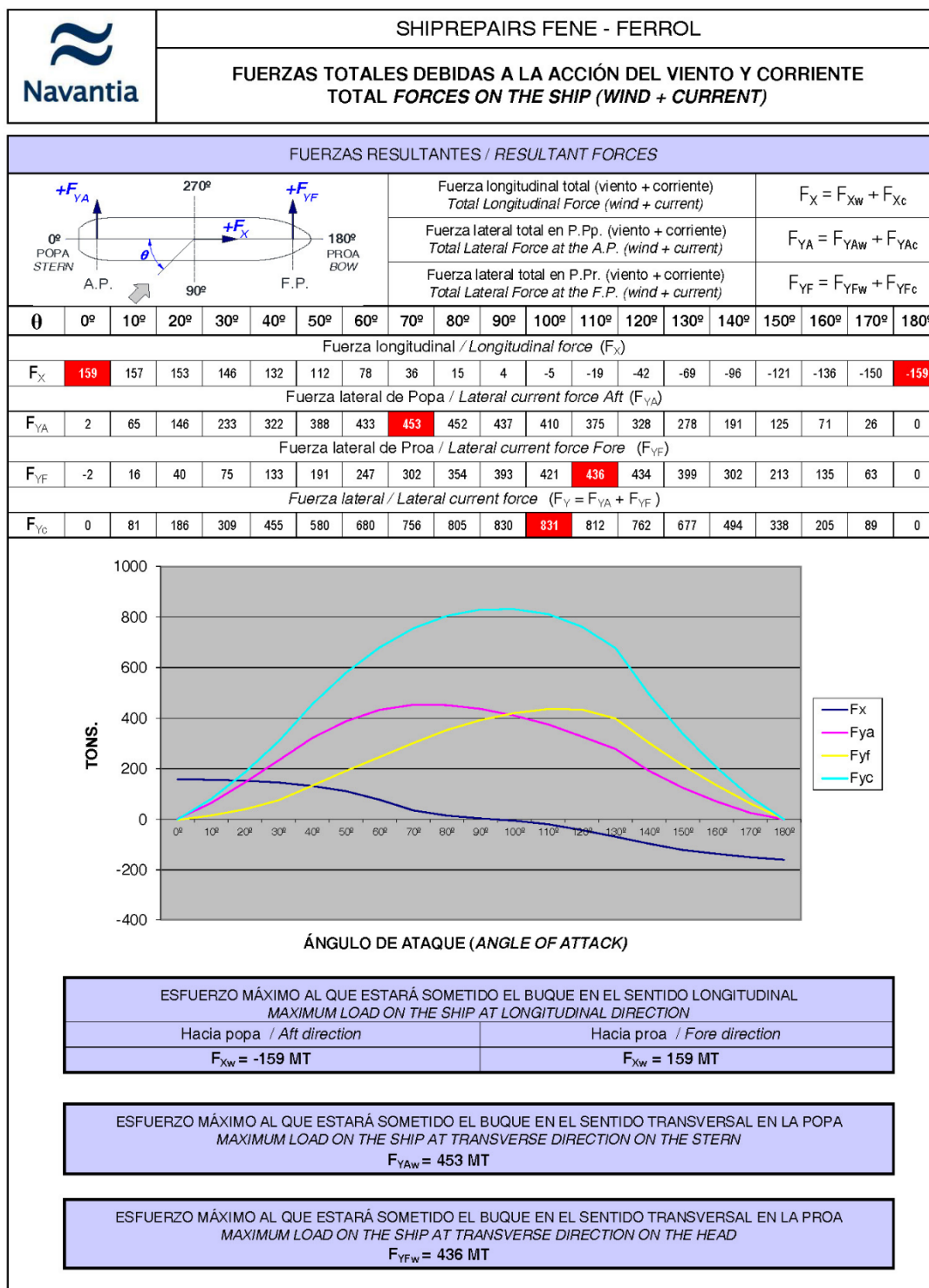


Figura 5.27 Representación gráfica de fuerzas longitudinales y transversales. Fuente: Autor

Las formas de las curvas representadas reflejarían en su caso cualquier error que pudiera cometerse en el dimensionamiento de los distintos coeficientes, sirviendo así como medio de autocontrol en lo que atañe a la introducción correcta del valor de los distintos parámetros en presencia.

La imagen de la figura 5.28 muestra la página 4 de nuestro informe final que servirá de base para el cálculo de las reacciones de las amarras a la velocidad de viento considerada.



LNG BAYELSA

Mooring alongside berth no.14 FERROL

18 July 2013

Rev.00

V - WIND + CURRENT FORCES ON THE SHIP

Figura 5.28 Página 4 del informe final. Fuente: Autor

5.4 INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DEL AMARRE

Por motivos tanto preventivos como de operatividad, previo a la llegada de cualquier buque para su reparación, se realiza una disposición de amarre adaptada al muelle donde permanecerá durante su estancia en el Astillero, la cual es enviada al capitán e inspector del buque para su análisis, discusión y

acuerdo con anterioridad a su llegada. El proceso que se sigue para la elaboración de la misma es el descrito a continuación:

- Dentro del grupo de planos recibidos del armador por correo electrónico (en el caso de que sea la primera vez que el buque viene al astillero, estos planos también resultan necesarios para la elaboración del plano de varada), extraemos el plano de disposición de amarre o, en su defecto, el plano de disposición general.
- La figura del buque (en formato .tif o .pdf) se introduce como imagen de trama en un fichero de AutoCad que contiene el muelle donde va a atracar y se modifica adaptándola a la misma escala de este.
- Se diseña el amarre, dibujando líneas en CAD entre los norayes de los muelles y las guías del buque.
- Una vez que nuestra Oficina Técnica ha finalizado su propuesta de amarre, se somete a la aprobación de nuestro Jefe de Marineros y Jefe de Producción antes de ser enviada al Armador. La figura 5.29 muestra la disposición correspondiente al ejemplo sobre el que estamos trabajando (LNG *BAYELSA* en el muelle 14 de Ferrol).

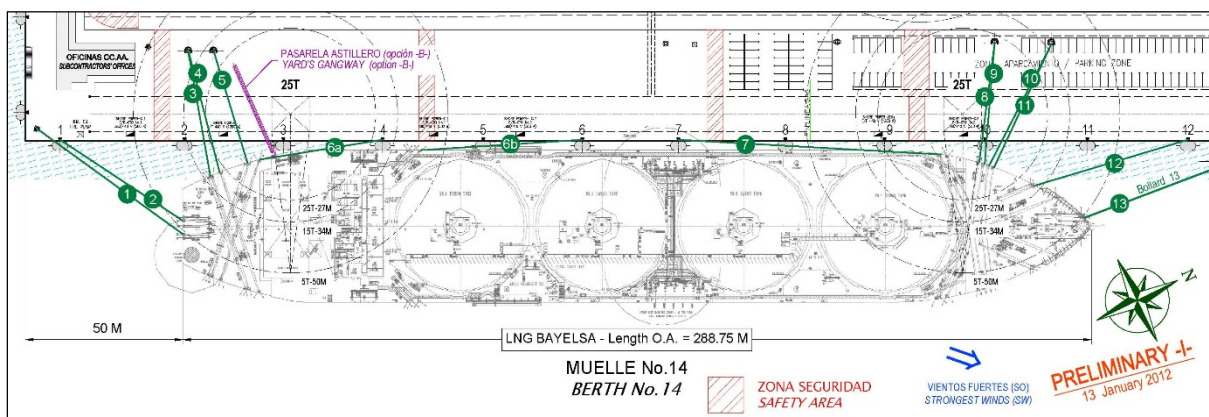


Figura 5.29 Disposición de amarre del buque LNG *BAYELSA* en el muelle 14 (disponible en Anexo 5.1). Fuente: NRFF

De este modo, tenemos un importante trabajo realizado que intentaremos aprovechar adicionalmente para la elaboración y presentación de nuestros cálculos. Será necesario establecer un protocolo con el fin de indicarle al programa de cálculo las propiedades de cada una de las amarras que configuran dicha disposición.

Para ello, y siguiendo el primer objetivo inicial de “*rapidez en la obtención de resultados*”, definiremos cada amarra por las siguientes dimensiones (véase figura 5.30):

- Longitud de su proyección horizontal (L), que de forma sencilla puede conocerse para cada una de las líneas, en la disposición de amarre ya realizada (Figura 5.29), con la simple operación de la consulta de las propiedades del segmento de *AutoCad* en cuestión.

- Ángulo α formado ente la amarra y la línea de crujía. La dimensión de dicho ángulo se identifica también de forma simple con la herramienta del menú “Medir” en el mismo plano que la dimensión anterior.

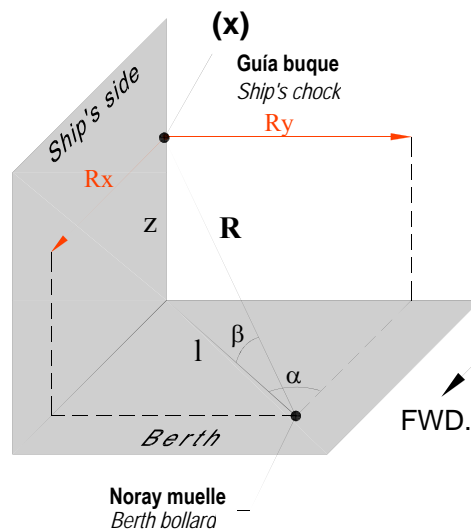


Figura 5.30 Definición de las amarres. Fuente: NRFF

Para que el libro de cálculo pueda diferenciar si la línea está orientada hacia proa o popa, se establece la línea de referencia del ángulo α como la de crujía del buque y siempre en sentido de popa a proa. Cuando el buque atraque estribor al muelle, los ángulos se tomarán siguiendo el criterio mostrado en la figura 5.31.

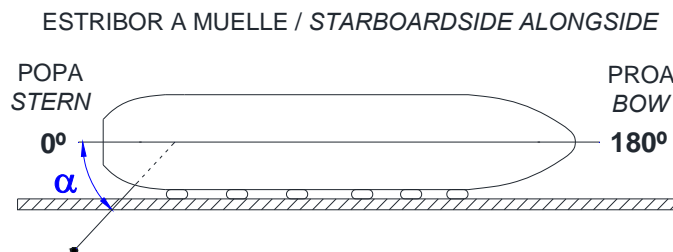


Figura 5.31 Definición del ángulo α con el buque atracado estribor a muelle. Fuente: Autor

El mismo criterio se aplicará con el buque atracado babor a muelle (figura 5.32).

- Altura Z : Corresponde a la distancia en vertical desde la guía del buque por la que se da la amarra hasta el noray donde está encapillada.

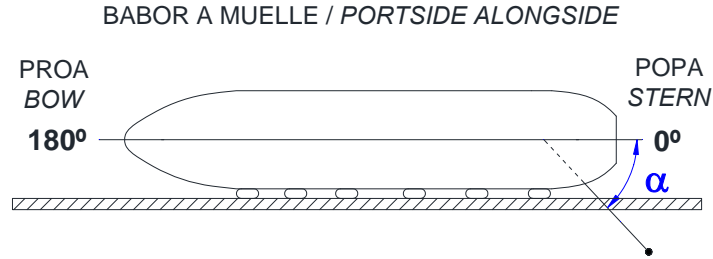


Figura 5.32 Definición del ángulo α con el buque atracado babor a muelle. Fuente: Autor

Con estas tres dimensiones (l , α y Z) definimos completamente la geometría de la línea, que nos servirá para calcular las resistencias máximas del cabo de amarre, tanto en sentido longitudinal (R_x), como en sentido transversal (R_y).

Como hemos visto en el capítulo 2, el esfuerzo máximo (R) que puede soportar la línea viene dado por su carga mínima de rotura o *MBL* (*Minimum Breaking Load*). Este, lógicamente, es un dato que nos ha de proporcionar el propio buque, exceptuando aquellos casos en que se utilicen cabos del Astillero como refuerzo.

De la figura 5.30 pueden deducirse las componentes longitudinal y transversal de la resistencia máxima de la línea, que vendrán dadas por las fórmulas:

$$R_x = (MBL) \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha = (MBL) \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{Z}{l} \right) \right) \cdot \cos \alpha \quad (5.23)$$

$$R_y = (MBL) \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha = (MBL) \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{Z}{l} \right) \right) \cdot \sin \alpha \quad (5.24)$$

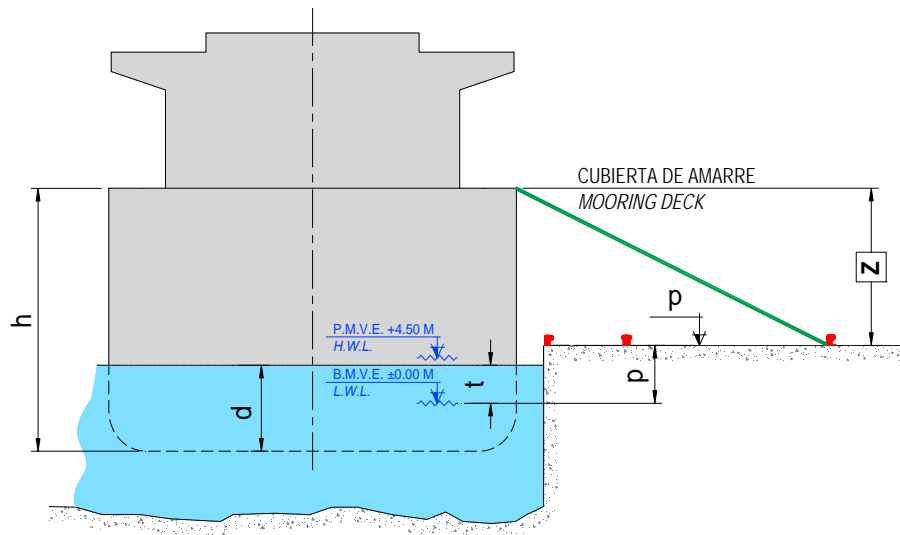


Figura 5.33 Vista de la sección transversal. Fuente: NRFF

Tal y como se ha indicado anteriormente, tanto la dimensión l como α pueden extraerse fácilmente del plano de disposición de amarre. Veamos cómo se calcula la altura Z . Si observamos la figura 5.33, deduciremos que dicha altura viene definida por la fórmula:

$$Z = h - d - p + t \quad (5.25)$$

Donde,

- ***h*** es la altura en metros desde la quilla a la cubierta de amarre, que pudiera diferir del puntal de buque, ya que es bastante habitual, especialmente en la popa, que la cubierta donde se encuentran alojadas las maquinillas de amarre tenga menor elevación que la principal, siendo también común que los valores de proa y popa no coincidan.
- ***d*** es el calado del buque en metros. Es conveniente matizar que para el cálculo de la altura *Z* tomaremos de forma independiente el calado de proa y el de popa ya que el buque suele tener un asiento considerable en su condición de lastre.
- ***p*** es la altura en metros del nivel de coronamiento del muelle con respecto a la bajamar equinocial, variable en función del muelle de que se trate. Constituye una constante para cada uno de los muelles de atraque.
- ***t*** es la altura en metros de la marea a considerar para el cálculo. Con el fin de posicionarnos en el caso más desfavorable, esta variable o bien toma el valor de la pleamar máxima del espacio de tiempo considerado para la alerta meteorológica, o bien el de la pleamar máxima del año (4,5 m).

Las alturas de la marea se indican de acuerdo a las tablas elaboradas por el Astillero, que poseen sus referencias internas propias.

SECCIÓN TRANSVERSAL / TRANSVERSE SECTION										
<p>CUBIERTA DE AMARRE MOORING DECK</p> <p>PMVE. +4.50 M HWL</p> <p>B.M.V.E. ±0.00 M LWL</p> <p>h</p> <p>d</p> <p>p</p> <p>t</p> <p>Z</p>							MUELLE NO. BERTH NO.		14	
							CENTRO CENTRE		FERROL	
							MÁX. CARRERA DE MAREA MAX. TIDAL RANGE			
							4.50 M			
							B.M.V.E. ANNUAL LOWEST TIDE		0,00 m	
		7.16 m (1*)								
P.M.V.E. ANNUAL HIGHEST TIDE		4,50 m								
		11.66 m (1*)								
PLEAMAR CONSIDERADA PARA EL CÁLCULO HIGHEST TIDE CONSIDERED IN THE CALCULATION					11,66 m		(1*)	Marea en tablas del Astillero Tide at Yard's table		
h	Puntal a la cubierta de amarre Depth to mooring deck				Z	Elevación de la cubierta de amarre sobre muelle Mooring deck rise above berth				
CALADOS EN ATRAQUE / BERTH DRAFTS					p	Nivel del coronamiento del muelle Berth top level			+ 6,00 m	
Popa / Aft		Medio / Mean		Proa / Fore						
d _A	8,00	d _C	7,50	d _F	7,00 m	t	Pleamar considerada para el cálculo Top tide used for the calculation			+ 4,50 m

Figura 5.34 Datos necesarios para el cálculo de la altura *Z*

De acuerdo con la definición de alturas descrita, habremos de cubrir los datos del calado de proa, calado de popa y altura de la pleamar considerada para el cálculo. El resto de los datos mostrados en la figura 5.34 o son invariables, o se rellenan de forma automática.

Línea Line No.	Cant./Qty.	MBL	Suminist. por: Supplied by:	Pos. long. Long. pos (x)	Puntal Depth (h)	l	α	Calado Draft (d)	z	β	R	R _x	R _y
1	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	57,20 m	36°	8,00 m	13,60 m	13°	126 MT	99 MT	72 MT
2	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	47,40 m	35°	8,00 m	13,60 m	16°	126 MT	99 MT	69 MT
3	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	56,00 m	79°	8,00 m	13,60 m	14°	126 MT	23 MT	120 MT
4	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	37,00 m	72°	8,00 m	13,60 m	20°	126 MT	37 MT	112 MT
5	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	37,40 m	67°	8,00 m	13,60 m	20°	126 MT	46 MT	109 MT
6	1	126 T	SHIP	AFT	26,50 m	51,90 m	177°	8,00 m	17,00 m	18°	126 MT	-120 MT	6 MT
7	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	83,10 m	3°	7,00 m	18,30 m	12°	126 MT	123 MT	6 MT
8	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	51,70 m	5°	7,00 m	18,30 m	19°	126 MT	118 MT	10 MT
9	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	38,30 m	95°	7,00 m	18,30 m	26°	126 MT	-10 MT	113 MT
10	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	38,80 m	93°	7,00 m	18,30 m	25°	126 MT	-6 MT	114 MT
11	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	45,40 m	97°	7,00 m	18,30 m	22°	126 MT	-14 MT	116 MT
12	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	47,90 m	88°	7,00 m	18,30 m	21°	126 MT	4 MT	118 MT
13	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	41,40 m	145°	7,00 m	18,30 m	24°	126 MT	-94 MT	66 MT
14	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	69,60 m	159°	7,00 m	18,30 m	15°	126 MT	-114 MT	44 MT

Figura 5.35 Datos de las líneas de amarre. Fuente: NRFF

Nos encontramos ya en disposición de definir, de forma individualizada, cada una de las líneas de amarre. Para ello, rellenaremos las celdas sombreadas en color amarillo de la tabla mostrada en la figura 5.35, de acuerdo a los parámetros siguientes:

- **Número de línea:** Identifica a cada una de la amarras con un número. Para no crear confusión, este número debe ser el mismo que el indicado en la disposición de amarre de partida (figura 5.29). Si esta celda no contiene ningún dato, el programa pone en blanco todas aquellas pertenecientes a la misma fila.
- **Cantidad:** En el caso de que se dispongan amarras del Astillero para reforzar la disposición original, es frecuente utilizar líneas dobles, con lo que este campo tomará el valor de 2, doblando la resistencia de la línea en cuestión.
- **MBL:** Carga de rotura mínima (*Minimum Breaking Load*) de cada amarra.
- **Suministrada por:** Identifica si la línea es propiedad del buque o del Astillero. Al posicionarse en la celda correspondiente, aparecerá un desplegable que nos permitirá elegir “SHIP” o “YARD”.

- **Posición longitudinal:** Identifica si las líneas provienen de la proa o popa del buque con el fin de considerar el calado adecuado para el cálculo de la altura Z . Un desplegable facilita la elección de “FORE” o “AFT”.
- **Puntal h:** Se define como la altura sobre la quilla de la cubierta por la que sale la amarra, que puede no corresponderse con su posición longitudinal, resultando necesario especificar la altura de cada una de las guías por la que laborea cada cabo en particular. A modo de ejemplo, las amarras 5 y 6 salen ambas por la popa, pero las guías se encuentran a alturas bien diferenciadas (la número 6 sale de una maquinilla de *spring*, por la proa de la habitación, desde la cubierta principal, mientras que la número 5 hace lo propio desde la cubierta de maniobra de popa, con un puntal sensiblemente menor).
- **Longitud l:** Es la longitud de la proyección horizontal, dimensionada a partir del plano de amarre, tal y como se describió anteriormente.
- **Ángulo α :** Obtenida de manera similar a la dimensión anterior y de acuerdo al criterio fijado.

La zona derecha de la tabla realiza los cálculos siguientes:

- **Calado d:** Toma el valor del calado de proa o popa de acuerdo con el contenido de la celda que define la posición longitudinal.
- **Altura Z :** Calcula la dimensión de la altura entre la guía del buque y el noray de acuerdo con la expresión (5.25).
- **Ángulo β :** Ángulo vertical que formado entre la amarra y el plano del muelle, calculado a partir de las dimensiones Z y l (véase la figura 5.30) aplicando la relación siguiente:

$$\beta = \arctg \frac{Z}{l} \quad (5.26)$$

- **Resistencia R :** Igual al *MBL* del cabo de amarre, multiplicado por su cantidad.
- **Componente longitudinal R_x :** Indica la contribución a la resistencia longitudinal de la amarra analizada y su valor viene dado por la expresión (5.23).
- **Componente transversal R_y :** Calcula la componente transversal de la línea de amarre de acuerdo a la relación (5.24).

Una vez definidas cada una de las amarras siguiendo los parámetros indicados, el programa analiza cómo se comporta el sistema de forma global estudiando independientemente los cuatro subsistemas que se describen en los apartados siguientes:

5.4.1 CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN POPA (SECCIÓN 4.3)

Selecciona todas aquellas amarras que, partiendo de la popa, forman un ángulo α con la línea de crujía comprendido entre 10° y 170° , es decir, discrimina las líneas cuya contribución a la resistencia

transversal en popa puede despreciarse, con la finalidad de ofrecer una imagen clara del sistema que conforman los traveses de popa.

A continuación, realiza la suma de todas sus componentes transversales y descuenta el 10% del total con el fin de tener en cuenta la pretensión necesaria para mantener el buque tocando con las defensas del muelle en condiciones normales.

Linea Line No.	Cant./Qty.	MBL	Suminist. por: Supplied by:	Pos. long. Long. pos (x)	Puntal Depth (h)	l	α	Calado Draft (d)	z	β	R	R _x	R _y
1	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	57,20 m	36°	8,00 m	13,60 m	13°	126 MT	99 MT	72 MT
2	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	47,40 m	35°	8,00 m	13,60 m	16°	126 MT	99 MT	69 MT
3	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	56,00 m	79°	8,00 m	13,60 m	14°	126 MT	23 MT	120 MT
4	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	37,00 m	72°	8,00 m	13,60 m	20°	126 MT	37 MT	112 MT
5	1	126 T	SHIP	AFT	23,10 m	37,40 m	67°	8,00 m	13,60 m	20°	126 MT	46 MT	109 MT
TOTAL (Ry)			SUMA / ADDITION (Ry)								483 MT		
			RESISTENCIA TENIENDO EN CUENTA LA PRETENSION DE LAS AMARRAS RESISTANCE HAVING IN ACCOUNT MOORING LINES PRETENSION								435 MT		
			PORCENTAJE DE CARGA DE LAS LINEAS DE AMARRE LOAD PERCENTAGE OF MOORING LINES								104%		
Coeficiente de seguridad de acuerdo con OCIMF / Safety coefficient according to OCIMF									55 %	239 MT			
VELOCIDAD DEL VIENTO QUE PODRÍAN SOPORTAR LAS LÍNEAS EXISTENTES MAXIMUM WIND VELOCITY THAT EXISTING MOORING LINES COULD SUPPORT										94 km/h		51 knots	
ÁNGULO DE ATAQUE CRÍTICO DEL VIENTO CON RESPECTO A LA POPA WIND CRITICAL ANGLE IN REFERENCE TO THE AFT										70 °			
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN SENTIDO TRANSVERSAL EN POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN										F _{YA} = 453 MT			
VELOCIDAD DEL VIENTO MÁXIMA QUE DEBERÁN SOPORTAR LAS LINEAS MAXIMUM WIND VELOCITY ON THE LINES										V _w = 130 km/h			

Figura 5.36 Cálculo de la resistencia transversal en popa. Fuente: Autor

Este valor (435 tons en nuestro ejemplo) se compara en términos de porcentaje con el calculado anteriormente (figura 5.26) como la fuerza máxima que el viento (a una velocidad de 130 km/h) y corriente ejercen sobre los traveses de popa (453 tons), de acuerdo a la relación siguiente:

$$\% \text{ carga} = \frac{F_{YA \text{ max}}}{0,9 \cdot \sum R_y} \cdot 100 \quad (5.27)$$

La relación entre la fuerza máxima que han de soportar y su resistencia nos indica en qué medida están cargadas estas líneas. Este valor ha de compararse con el máximo admitido por la OCIMF⁸⁹ que se muestra de forma automática siguiendo la casilla marcada en el momento de introducir los datos del buque (figura 5.1).

⁸⁹ Tal y como hemos indicado en la sección 2.3, el coeficiente de seguridad a aplicar para el cálculo de la resistencia de las amarras depende del material del que estén construidas, recomendándose el valor límite del 55 % para las de alambre, 50% para materiales sintéticos y 45% para cabos de poliamida (OCIMF, 2008, p.18).

En el caso de que el valor del porcentaje de carga obtenido supere las recomendaciones de la OCIMF, el programa destaca estos valores en color rojo, como es el caso de nuestro ejemplo (figura 5.36). Seguidamente, realiza el cálculo inverso. Es decir, busca la velocidad de viento máxima que podría soportar el sistema de traveses de popa. Para ello, fuera del rango de impresión, para cada uno de los valores del ángulo de ataque de viento obtiene el valor de F_{YAwmax} de acuerdo a la expresión (5.28)

$$F_{YAwmax} = \frac{\% \text{ carga max} \cdot 0,9 \cdot \sum R_y}{100} \quad (5.28)$$

Recordemos que la fuerza transversal máxima en la popa era la suma de aquella producida por el viento y la originada por la corriente, siendo esta última independiente de la velocidad del viento, de acuerdo a la expresión (5.4). La fuerza primera de ellas vendrá entonces definida por la relación (5.29).

$$F_{YAw} = F_{YA} - F_{YAc} \quad (5.29)$$

Sustituyendo F_{YAw} en la expresión anterior, obtendremos:

$$F_{YAwmax} = \frac{\% \text{ carga max} \cdot 0,9 \cdot \sum R_y}{100} - F_{YAc} \quad (5.30)$$

Valores todos ellos conocidos para cada uno de los ángulos de ataque de viento considerados. Una vez determinados los valores de F_{YAwmax} , podemos proceder a calcular la velocidad de viento que originaría esta fuerza, extraído su valor a partir de la expresión (5.10)

$$V_{wmax} = \sqrt{\frac{F_{YAwmax} \cdot 7600}{C_{YAw} \cdot \rho_w \cdot A_L}} \quad (5.31)$$

Suponiendo, así, la condición más desfavorable, el valor obtenido (igual a 94 Km/h, o 51 nudos, en nuestro ejemplo) indicará la velocidad máxima de viento que el sistema puede soportar cuando este sople formando un ángulo de 70° con respecto a la popa.

5.4.2 CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN PROA (SECCIÓN 4.4)

De forma similar, en una hoja de cálculo independiente, el programa define los cabos de amarre que forman el sistema de traveses de proa, aplicando dos filtros:

1. El ángulo α está comprendido entre 10° y 170°
2. La celda correspondiente a su posición longitudinal (x) contiene el valor “FORE”

Esta hoja realiza los mismos cálculos mencionados en la sección anterior y obtiene, de forma similar, la velocidad máxima de viento que este sistema sería capaz de soportar, de acuerdo a la expresión (5.32) así como el ángulo de viento más desfavorable.

$$V_{w\max} = \sqrt{\frac{F_{YFw\max} \cdot 7600}{C_{YFw} \cdot \rho_w \cdot A_L}} \quad (5.32)$$

5.4.3 CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA POPA (SECCIÓN 4.5)

Siguiendo el mismo procedimiento, se define el conjunto de amarras que formará el sistema compuesto por los *springs* de popa y largos de proa, discriminando todas aquellas amarras cuyo ángulo α sea menor de 97° .

Línea Line No.	Cant./Qty.	MBL	Suminist. por: Supplied by:	Pos. long. Long. pos (x)	Puntal Depth (h)	l	α	Calado Draft (d)	z	β	R	R _x	R _y
6	1	126 T	SHIP	AFT	26,50 m	51,90 m	177°	8,00 m	17,00 m	18°	126 MT	-120 MT	6 MT
13	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	41,40 m	145°	7,00 m	18,30 m	24°	126 MT	-94 MT	66 MT
14	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	69,60 m	159°	7,00 m	18,30 m	15°	126 MT	-114 MT	44 MT
TOTAL (Rx)			SUMA / ADDITION (Rx)								328 MT		
			RESISTENCIA TENIENDO EN CUENTA LA PRETENSION DE LAS AMARRAS RESISTANCE HAVING IN ACCOUNT MOORING LINES PRETENSION								295 MT		
			PORCENTAJE DE CARGA DE LAS LINEAS DE AMARRE LOAD PERCENTAGE OF MOORING LINES								54%		
Coeficiente de seguridad de acuerdo con OCIMF / Safety coefficient according to OCIMF									55 %	162 MT			
VELOCIDAD DEL VIENTO QUE PODRÍAN SOPORTAR LAS LÍNEAS EXISTENTES MAXIMUM WIND VELOCITY THAT EXISTING MOORING LINES COULD SUPPORT										131 km/h	71 knots		
ÁNGULO DE ATAQUE CRÍTICO DEL VIENTO CON RESPECTO A LA POPA WIND CRITICAL ANGLE IN REFERENCE TO THE AFT										180°			
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL HACIA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL AFT DIRECTION										F _x =	-159 MT		
VELOCIDAD DEL VIENTO MÁXIMA QUE DEBERÁN SOPORTAR LAS LINEAS MAXIMUM WIND VELOCITY ON THE LINES										V _w =	130 km/h		

Figura 5.37 Cálculo de la resistencia longitudinal al desplazamiento hacia popa. Fuente: Autor

Por el hecho de que los ángulos α que identifican estas amarras son mayores de 90° , obtendremos un coseno negativo que inducirá que los resultados de R_x lo sean también al aplicar la fórmula (5.23).

El porcentaje de carga de este sistema vendrá determinado por la relación entre la fuerza máxima que ha de soportar (159 tons) a 130 km/h de velocidad de viento y su resistencia, disminuida en un 10% al tener en cuenta la pretensión (295 tons), tal y como indica la expresión (5.33).

$$\% \text{ carga} = \frac{F_{x\max}}{0,9 \cdot \sum R_x} \cdot 100 \quad (5.33)$$

En el caso presente, se aprecia que el sistema está sometido a un porcentaje inferior al máximo permitido por la OCIMF y los datos se presentan en fondo azul (figura 5.37).

El cálculo inverso que nos lleva a obtener los valores de la velocidad de viento máxima en función del ángulo de ataque se realiza fuera del área de impresión, obteniendo inicialmente la fuerza longitudinal máxima que el sistema puede soportar, de acuerdo a la expresión (5.34).

$$F_{X_{\max}} = \frac{\% \text{ carga max} \cdot 0,9 \cdot \sum R_x}{100} \quad (5.34)$$

Es necesario indicar que los valores de fuerza longitudinal considerados son aquellos correspondientes a un ángulo de ataque del viento y corriente (θ) comprendidos entre 100° y 180° , que provocarían el desplazamiento del buque hacia popa.

Si a este valor le restamos la fuerza ejercida por la corriente para cada uno de los ángulos considerados, obtendremos la fuerza máxima de viento que pueden soportar los esprines de popa y largos de proa (5.35)

$$F_{X_{w\max}} = \frac{\% \text{ carga max} \cdot 0,9 \cdot \sum R_x}{100} - F_{X_c} \quad (5.35)$$

Una vez conocido el valor de la misma, la velocidad correspondiente vendrá determinada al despejar V_w de la expresión (5.9).

$$V_{w\max} = \sqrt{\frac{F_{X_{w\max}} \cdot 7600}{C_{X_w} \cdot \rho_w \cdot A_T}} \quad (5.36)$$

Deducimos, de esta forma, que la velocidad máxima de viento que puede soportar el sistema en sentido longitudinal cuando el viento sopla desde ángulos comprendidos entre 90° y 180° es de 131 km/h (71 nudos), siendo 180° el ángulo más desfavorable.

5.4.4 CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA PROA (SECCIÓN 4.6)

El cálculo de este sistema es muy similar al anterior. La diferencia fundamental estriba en que el programa filtrará todas aquellas amarras que posean un ángulo α comprendido entre 0° y 83° que corresponderán a los esprines de proa, largos de popa y alguna amarra de través que tenga una componente importante hacia popa.

Se calcularán también fuera del área de impresión y utilizando la misma expresión (5.36), las velocidades máximas de viento admisibles cuando el ángulo de ataque θ se halle comprendido entre 0° y 90° , tomando en consideración las fuerzas longitudinales generadas para cada uno de ellos.

5.5 RESISTENCIA DEL SISTEMA DE DEFENSAS

Aunque el sistema de defensas del muelle ha de ser estudiado de forma particular en la condición de atraque del buque⁹⁰, se hace necesario analizar su comportamiento con vientos de 130 km/h, cuando éstos tienen una dirección tal que empujan al barco contra el muelle, es decir, lo aconchan al mismo.

Debido a que muchos de los muelles de NRFF tienen más de 100 años de antigüedad, tanto los elementos de amarre como las defensas han tenido que ser modificados de acuerdo con la evolución de los buques que a ellos se atracan. Antiguamente, las defensas estaban compuestas por cilindros de madera a los que se incorporaban en su diámetro exterior varias cubiertas de camión, lo que configuraba un sistema flotante que se adaptaba bien a los cambios de marea y que sigue todavía utilizándose en algunas ocasiones en las que resulta necesario acercar el buque al muelle.

La tendencia mundial hacia el incremento de tamaño de los buques ha originado la necesidad de buscar una alternativa al sistema descrito ya que presenta problemas de resistencia de la propia defensa e induce daños en el casco de los buques. Hacia el año 1995 se optó por la adquisición paulatina de defensas del tipo de goma hinchables, más conocidas como *YOKOHAMA* (por ser uno de los fabricantes más conocidos), que poseen las ventajas siguientes:

- Aprovechan la elasticidad del aire como elemento amortiguador lo que se traduce en una alta absorción de energía y baja presión superficial que da lugar a un descenso de las fuerzas de reacción, respetando de forma especial los cascos de los buques recién pintados.
- En circunstancias normales, la presión en la superficie de la defensa es uniforme e independiente de la forma del casco del buque en la que está trabajando, lo que reduce el riesgo de daños al mismo.
- Es una defensa flotante y puede, fácilmente, trasladarse de un muelle a otro para cubrir las necesidades productivas.
- Se caracteriza por una sencilla instalación que permite sostener una inversión derivada en el tiempo.

La experiencia obtenida de su utilización durante estos años es altamente positiva. Sin embargo, es necesario citar las siguientes desventajas con respecto a otros sistemas existentes en el mercado:

- Aunque dispone de dispositivos de seguridad, la aplicación de una fuerza excesiva puede provocar que la defensa reviente lo que confiere un riesgo al que debe de prestarse especial consideración.

⁹⁰ Los requerimientos de las defensas en el momento del atraque serán analizados en el capítulo siguiente.

- Este tipo de defensas es el que mayor mantenimiento y cuidado requiere a lo largo de su vida útil ya que un extremo punzante o la exposición a un elemento caliente las daña fácilmente.
- Si la presión que ejerce el costado del buque contra el muelle es alta, la defensa puede rodar sobre éste en la subida de marea pudiendo alcanzar incluso el coronamiento y salirse del muelle.
- La compresión oblicua de la defensa ha de limitarse a 10°.
- El fabricante cifra su vida útil en tan sólo 10 años de trabajo.

En la figura 5.38 se representa una disposición general de esta defensa donde se incluyen las protecciones exteriores que la protegen de elementos punzantes y los elementos de remolque que facilitan su desplazamiento a flote.

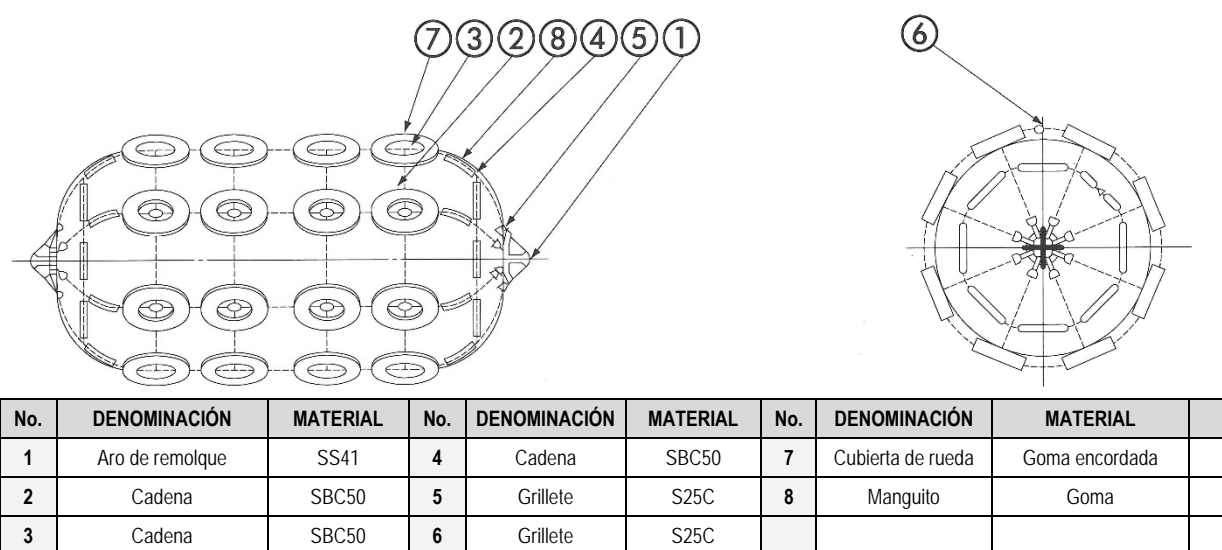


Figura 5.38 Disposición general de las defensas. Fuente: Manual para defensas de goma neumáticas Yokohama (Yokohama Rubber Co., Ltd., FD 04, p. 17)

Aunque alguna de las defensas utilizadas varía en su configuración exterior ya que no dispone de la protección de la ruedas con el fin de proteger en grado máximo el casco de los buques recién pintados, todas ellas están normalizadas, tanto en su tamaño (2,5 metros de diámetro y 5,5 metros de longitud), como en su modelo (PNEUMATIC 50) que cumple las características indicadas en la figura 5.39.

TAMAÑO NOMINAL	ENERGÍA DE ABSORCIÓN GARANTIZADA	FUERZA DE REACCIÓN	PRESIÓN SOBRE EL CASCO (60% DEFORMACIÓN)
2500 X 5500 mm.	95 tons.m	204 tons	15 tons/m ²

Figura 5.39 Datos técnicos de las defensas. Fuente: Manual para defensas de goma neumáticas Yokohama (Yokohama Rubber Co., Ltd., FD 04, p. 4)

Para que nuestro sistema de defensas sea compatible con las condiciones de viento y corriente propuestas, hemos de confirmar que se cumplen las condiciones siguientes:

1. Cada una de las defensas que compone el sistema ha de ser capaz de soportar una parte de las cargas inducidas por dichos fenómenos, teniendo en cuenta que las mismas son variables en función de su ángulo de ataque (θ).
2. La reacción recibida por el casco del buque se encuentra dentro de sus límites de resistencia con el fin de evitar daños al mismo. Estudiaremos con profundidad este condicionante en el capítulo 6, aunque podemos adelantar que con la utilización de este tipo de defensas se evita este problema.

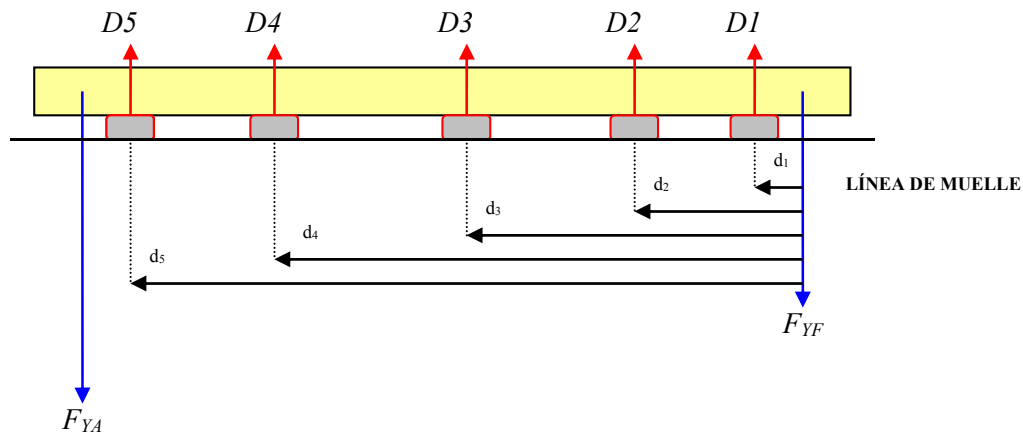


Figura 5.40 Esquema de distribución de fuerzas. Fuente: Autor

Para la consecución del cálculo de la primera de las condiciones, consideraremos al buque como una viga indeformable a la que aplicamos en cada uno de sus extremos, separados una distancia igual a la eslora entre perpendiculares, una fuerza igual a aquella definida en la tabla de la figura 5.26, suma de las acciones de viento y corriente.

Es evidente que para cada una de las posibles direcciones de viento, nuestro sistema vendrá definido por dos fuerzas de la misma dimensión pero sentido contrario a aquellas obtenidas para la comprobación del sistema de amarre. Oponiéndose a éstas, se inducirán las reacciones en cada una de las defensas que variarán de acuerdo a la posición relativa de las mismas, como indica la figura 5.40.

De esta forma, las defensas de los extremos se verán sometidas a mayores esfuerzos por la necesidad de compensación del momento generado tanto por el ángulo de ataque del viento como por la diferencia de las formas del buque entre la proa y la popa.

El proceso de cálculo de la reacción individual de cada defensa constituye una tarea muy compleja que el software especializado resuelve de forma dinámica, estudiando la deformación generada en cada caso. Por el hecho de que históricamente no se han producido daños en las defensas ni en los buques cuando éstos se encontraban atracados a los muelles⁹¹, se ha convenido en dar al problema una solución aproximada, planteándola de la siguiente forma: La fuerza generada tanto en la perpendicular de proa

⁹¹ Caso distinto lo constituye la reacción de la defensa en el momento del atraque, donde sí se han producido incidencias, que serán abordadas en el capítulo siguiente.

como de popa se distribuirá entre las defensas de la zona correspondiente tras la aplicación de un coeficiente de seguridad.

Bajo tal supuesto, la fuerza originada en ambas perpendiculares se calculará en función del ángulo de ataque de viento y corriente (θ) que variará entre 190° y 350° (véase la figura 5.41), de tal forma que sus valores equivaldrán al ángulo adyacente y simétrico con respecto a la línea de crujía⁹².

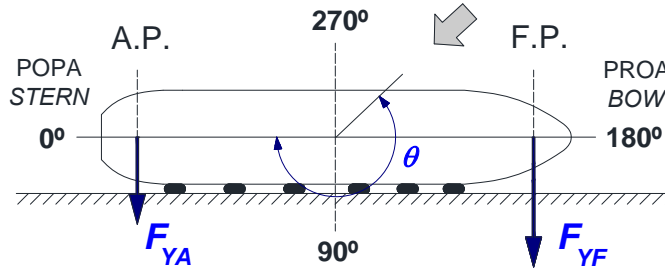


Figura 5.41 Ángulo de ataque para el cálculo de la resistencia de las defensas. Fuente: Autor

Siendo C_d el coeficiente de seguridad definido para su aplicación en las defensas y N_{pr} el número de defensas que soportan el buque en la zona plana del costado desde la línea central hasta la proa, la reacción individual de las defensas en esta zona (D_{pr}), vendrá definida por la expresión (5.37):

$$D_{pr} = C_d \cdot \frac{F_{YF}}{N_{pr}} \quad (5.37)$$

De igual forma, para la zona de popa, obtendremos:

$$D_{pp} = C_d \cdot \frac{F_{YA}}{N_{pp}} \quad (5.38)$$

La fuerza máxima que es capaz de soportar una defensa ($D_{máx}$) viene definida por su fuerza de reacción cuando la deformación alcanza el 60%. Este dato, suministrado por el fabricante, se obtiene como resultado de pruebas estandarizadas que veremos con mayor profundidad en el capítulo siguiente. Sustituyendo en las expresiones anteriores las reacciones en las zonas de proa y popa por el valor del máximo aceptable, podremos conocer el módulo de las fuerzas en las perpendiculares de proa y popa que nuestro sistema es capaz de soportar (5.39 y 5.40).

$$F_{YF \max} = \frac{D_{\max} \cdot N_{pr}}{C_d} \quad (5.39)$$

$$F_{YA \max} = \frac{D_{\max} \cdot N_{pp}}{C_d} \quad (5.40)$$

⁹² A modo de ejemplo, la fuerza generada en la perpendicular de proa con un ángulo de ataque de 170° tendrá el mismo módulo que para 190° , pero sentido contrario.

La velocidad de viento máxima admisible para cada ángulo de ataque vendrá definida por la aplicación de las fórmulas (5.10) y (5.11), una vez deducidos los valores de la fuerza generada por la corriente y de la pretensión de los traveses de proa ($0,9 \cdot R_{YF}$) y popa ($0,9 \cdot R_{YA}$), de acuerdo a las expresiones (5.41) y (5.42).

$$V_{w\max}(\theta) = \sqrt{\left(\left(\frac{D_{\max} - N_{pr}}{C_d} - F_{YFc}(\theta) - 0,9 \cdot R_{YF} \right) \cdot \frac{7600}{A_L \cdot \rho_w \cdot C_{YFw}(\theta)} \right)} \quad (5.41)$$

$$V_{w\max}(\theta) = \sqrt{\left(\left(\frac{D_{\max} - N_{pp}}{C_d} - F_{YAc}(\theta) - 0,9 \cdot R_{YA} \right) \cdot \frac{7600}{A_L \cdot \rho_w \cdot C_{YAw}(\theta)} \right)} \quad (5.42)$$

Todas las variables indicadas son ya conocidas por nuestro programa de cálculo a excepción del número de defensas en proa (N_{pr}) y popa (N_{pp}). Una vez extraídos éstos del plano de amarre (véase Anexo 5.1), el valor de la velocidad máxima soportable por nuestro sistema será el menor obtenido de las dos expresiones anteriores, en función del coeficiente de seguridad (C_d) aplicado.

Estas operaciones se realizan en las secciones 4.3 y 4.4 del libro de cálculo, fuera del área de impresión.

5.6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La última hoja de nuestro libro de cálculo (representación de la alerta) trata de ofrecer una visión clara de las velocidades máximas de viento admisibles, tanto desde el punto de vista de las amarras como del de las defensas.

VELOCIDADES MÁXIMAS DE VIENTO SISTEMA DE AMARRAS / MOORING SYSTEM - MAXIMUM WIND SPEEDS																			
θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
Dirección longitudinal / Longitudinal direction																			
V_{\max} (km/h)	173	172	174	177	186	203	243	359	555	1095	731	375	255	200	169	151	142	135	131
Sistema de traveses de Popa / Aft breast system																			
V_{\max} (km/h)	1385	258	168	132	112	101	96	94	94	95	99	103	111	120	146	181	243	415	7584
Sistema de traveses de Proa / Fore breast system																			
V_{\max} (km/h)	1504	611	361	256	191	158	139	126	116	110	106	104	104	109	126	150	191	286	8240
Conjunto del sistema de amarre / Global mooring system																			
V_{\max} (km/h)	173	172	168	132	112	101	96	94	94	95	99	103	104	109	126	150	142	135	131

Figura 5.42 Tabla resumen de las velocidades máximas admisibles del amarre en función del ángulo de ataque. Fuente: Autor

La tabla de la figura 5.42 recoge los datos calculados entre las secciones 4.3 y 4.6 y los presenta de forma conjunta, destacando en color rojo los mínimos soportados por cada uno de los sistemas (longitudinal y transversal, tanto de proa como de popa).

Con respecto a las defensas, se han de introducir las variables indicadas en la sección anterior, que se encuentran identificadas, como ocurre con todos los datos, como celdas sombreadas de color amarillo. De igual forma, ofrece los resultados para los sistemas de proa y popa en función del ángulo de ataque y selecciona las velocidades de viento mínimas entre ambos para el mismo ángulo de ataque con el fin de definir la resistencia global.

REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE DEFENSAS / FENDERS SYSTEM REPRESENTATION																				
NÚMERO DE DEFENSAS ENTRE CUAD. MAESTRA Y PROA NUMBER OF FENDERS BETWEEN MIDSECTION AND FORWARD								3	FACTOR DE SEGURIDAD SAFETY FACTOR								1,5			
NUMERO DE DEFENSAS ENTRE CUAD. MAESTRA Y POPA NUMBER OF FENDERS BETWEEN MIDSECTION AND AFT								3												
VELOCIDADES MÁXIMAS DE VIENTO SISTEMA DE DEFENSAS / FENDERS SYSTEM - MAXIMUM WIND SPEEDS																				
θ	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	360°	
Sistema de defensas en Popa / Aft fenders system																				
V _{máx} (km/h)		510	299	223	179	148	136	127	122	118	116	116	118	125	138	162	207	318		
Sistema de defensas en Proa / Fore fenders system																				
V _{máx} (km/h)		320	213	168	140	122	117	116	119	123	129	140	156	177	213	286	403	682		
Conjunto del sistema de defensas / Global fenders system																				
V _{máx} (km/h)		320	213	168	140	122	117	116	119	118	116	116	118	125	138	162	207	318		

Figura 5.43 Tabla resumen de las velocidades máximas admisibles del sistema de defensas en función del ángulo de ataque.
Fuente: Autor

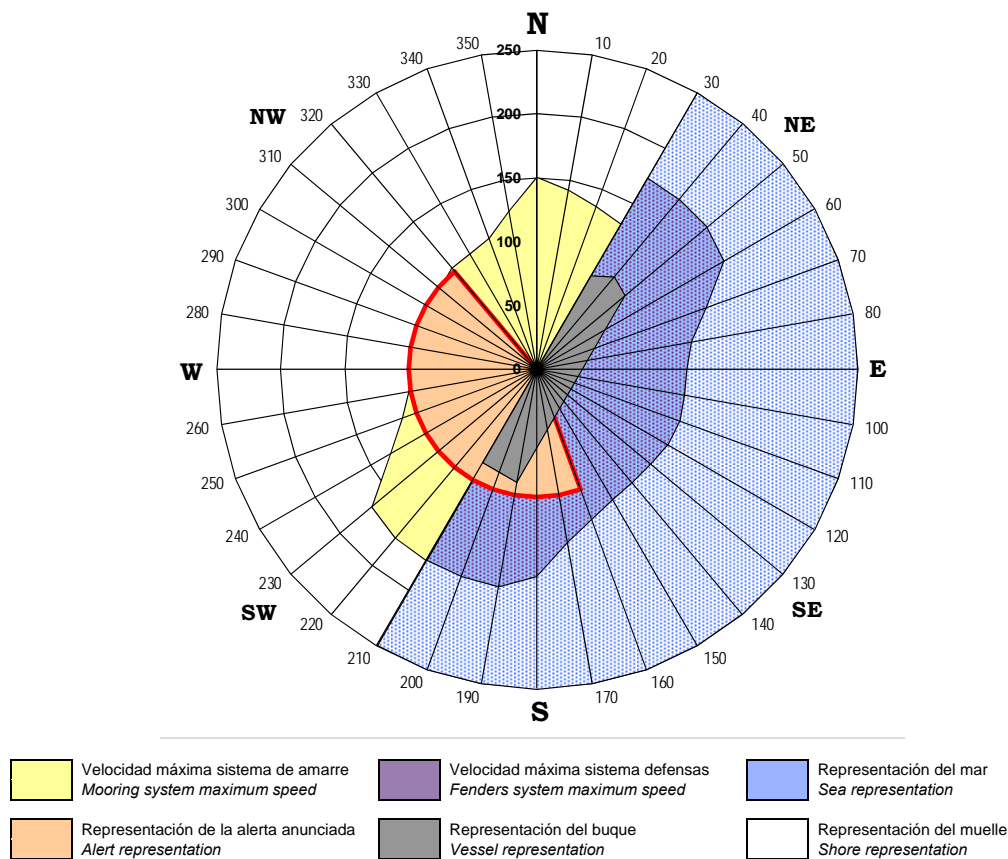


Figura 5.44 Representación gráfica de las velocidades máximas admisibles. Fuente: Autor

Todas estas velocidades máximas admisibles se representan gráficamente referenciadas a sus coordenadas polares sobre una rosa de los vientos, lo que permite detectar con facilidad los puntos débiles. El conjunto está formado realmente por 14 gráficas superpuestas, de las que una parte toma valor cero en función del ángulo de orientación del muelle o del costado de amarre del buque.

Es frecuente que una alerta meteorológica fije con anticipación la velocidad máxima de la racha esperada y un sector de procedencia del viento. Estas dos magnitudes pueden también representarse en el gráfico

en color beige, tras rellenar los datos indicados en la figura 5.45. Esta conjunción nos da una visión interesante de la resistencia de los sistemas de amarre y defensas en la zona de riesgo y ofrece una ayuda importante en la toma de decisiones.

Sobre el gráfico de la figura 5.44 aparece representado el sector de riesgo definido en el capítulo anterior (160° a 320°), de radio correspondiente a 100 km/h.

REPRESENTACIÓN DE LA ALERTA / WIND ALERT GRAPHIC REPRESENTATION				
LÍMITE INFERIOR DEL SECTOR DE ALERTA ALERT SECTOR - LOWER LIMIT	160°	VELOCIDAD MÁXIMA ANUNCIADA MAXIMUM SPEED EXPECTED	100	km/h
LÍMITE SUPERIOR DEL SECTOR DE ALERTA ALERT SECTOR - UPPER LIMIT	320°			

Figura 5.45 Datos a introducir para la representación gráfica de la alerta de viento. Fuente: Autor

Volviendo a los objetivos propuestos al inicio del capítulo, entre otros, considerábamos relevante la necesidad de que la elaboración del informe final fuese un proceso en el que no tuviésemos que invertir mucho tiempo a la vez de que pudiera ser realizado por alguien con conocimientos ofimáticos básicos. Pues bien, como hemos podido comprobar, la introducción de datos rellenando las casillas coloreadas en amarillo es una tarea sencilla que se ha agilizado especialmente en el apartado correspondiente a las longitudes y ángulos de los cabos de amarre.

La presentación se ha mejorado introduciendo una portada, hojas separadoras para distinguir las secciones de planos, datos generales, fuerzas generadas y cálculo del amarre así como la leyenda del lomo de la carpeta de entrega.

El resultado final del ejemplo que hemos elaborado se encuentra disponible en el Anexo 5.2 (Informe final) en formato .pdf.

5.7 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CÁLCULO

Una vez finalizado el proceso de elaboración y presentación del informe, se hace necesario comprobar su veracidad. Para ello, hemos de comparar los resultados obtenidos con aquellos ofrecidos por el software especializado.

Disponemos de un total de cuatro cálculos realizados en OPTIMOOR, dos de ellos encargados por la U.P. de Reparaciones Fene-Ferrol a la ingeniería PROES y otros dos que han sido amablemente cedidos por la terminal de regasificación que se encuentra dentro de la ría de Ferrol (Reganosa).

En las siguientes líneas estudiaremos individualmente cada uno de estos casos comparando los resultados ofrecidos con aquellos obtenidos por nuestro libro de cálculo al replicar exactamente las condiciones de amarre.

5.7.1 CASO 1: MHI CLASE G EN EL MUELLE DE REGANOSA

El estudio de *OPTIMOOR* elaborado por Shell en Julio de 2008 para analizar el cumplimiento de las directrices de la *OCIMF* de la serie de buques construidos por MHI y denominados clase G⁹³ en el muelle de Reganosa (disponible en el Anexo 5.3) concluye que la disposición de las 16 líneas de amarre utilizadas es capaz de soportar vientos de hasta **52 nudos** de velocidad.

La situación más desfavorable se da en condición de lastre y marea alta (4,5 metros), identificándose los traveses de proa como las líneas de mayor carga. El informe ofrecido incorpora representaciones gráficas de los valores límite de velocidad de viento para las condiciones de carga y lastre (figura 5.46).

Con el fin de conseguir una comparativa lo más fiable posible, hemos realizado el plano de amarre en esta terminal siguiendo la estructura indicada en el estudio y con la ayuda de las disposiciones generales, tanto del buque como del muelle (disponibles también en el mismo Anexo, dentro de la carpeta “planos”).

Una vez obtenidos los datos necesarios, se realizó el cálculo de amarre sobre el libro de Excel que puede encontrarse también en el mismo fichero, insertando como dato inicial una velocidad de viento de 60 nudos (111 km/h).

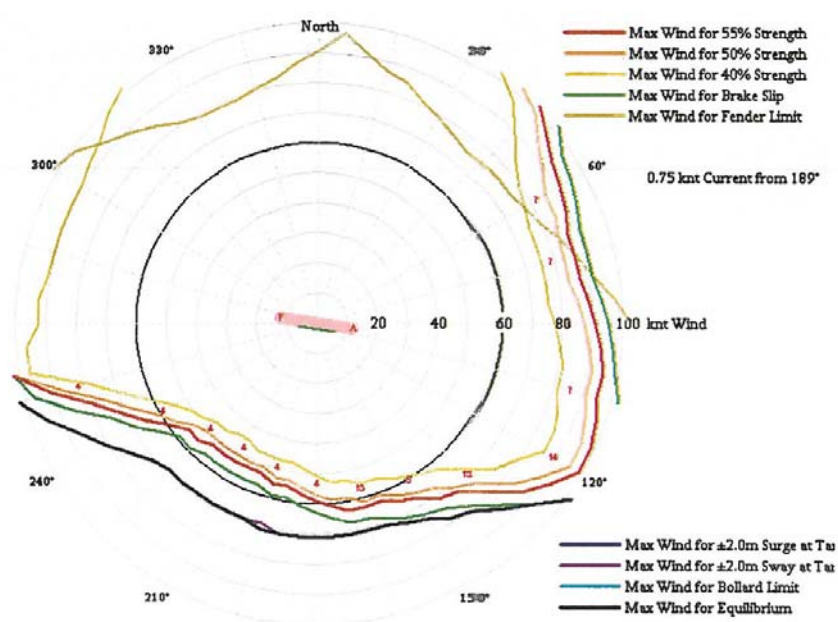


Figura 5.46 Representación gráfica de los límites del amarre (disponible en Anexo 5.3). Fuente: Informe elaborado por Shell International Trading and Shipping Company Limited. London, July 2008

Nuestro cálculo identifica también a los traveses de proa como las líneas más cargadas y fija la velocidad máxima de viento en **54 nudos**.

⁹³ Los buques LNG *GALEA*, LNG *GALLINA* y LNG *GENMATA* pertenecen a la mencionada clase G.

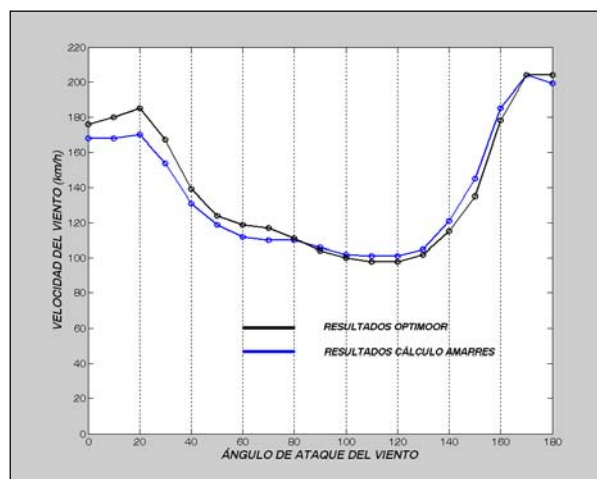


Figura 5.47 Comparativa de velocidades máximas admisibles (Amarre Clase G en Reganosa). Fuente: Autor

Aunque ambos valores son muy aproximados, se ha creído conveniente realizar una comparación de las velocidades máximas admisibles de ambas representaciones gráficas. Para ello, se extrajeron de la figura 5.46, exportándola a un fichero de AutoCad (disponible también en el mismo Anexo 5.3), los valores de velocidad de viento tomados desde la popa hasta la proa, de 10° en 10° cuando las amarras soportan un 55% de su resistencia, junto con sus ángulos de ataque correspondientes. Los valores obtenidos, representados en la figura 5.47 sobre una gráfica de *Matlab*, indican la coincidencia de ambos cálculos.

5.7.2 CASO 2: LNG NEVA RIVER EN MUELLE 14 DE FERROL

El buque LNG *Neva River* amarrado en el muelle 14 sirvió de ejemplo para un estudio encargado por NRFF a la empresa de ingeniería PROES a finales del año 2010 con el fin de analizar su comportamiento dinámico ante un temporal, así como la eficacia de ciertas medidas de contingencia, tales como el uso de remolcadores o de líneas de amarre de alta resistencia, que serán analizadas con mayor profundidad en el capítulo 8.

El estudio está realizado en la versión 6.0.6 de OPTIMOOR que incluye el módulo dinámico del programa para simular la evolución del buque en el caso de que sus amarras se vayan rompiendo en cascada y considera una velocidad media de viento de 50 nudos, que corresponde realmente, de acuerdo al espectro Harris-Davenport⁹⁴, a una velocidad máxima de 70 nudos (130 km/h)⁹⁵. El análisis se realiza bajo tres posibles direcciones de viento (222°, 260° y 285°), dentro del sector identificado en el capítulo 4 como de mayor riesgo.

⁹⁴ Este espectro representa las fluctuaciones de la velocidad del viento en un punto del espacio mediante la superposición de ráfagas armónicas de frecuencia circular transportadas por el viento medio, obteniendo, de esta forma, una simulación de los valores de racha generados sobre una gráfica velocidad / tiempo (Davenport, 1967).

⁹⁵ En la página 15 del informe (Anexo 5.4) puede encontrarse una representación gráfica del espectro así como la velocidad de racha máxima prevista.

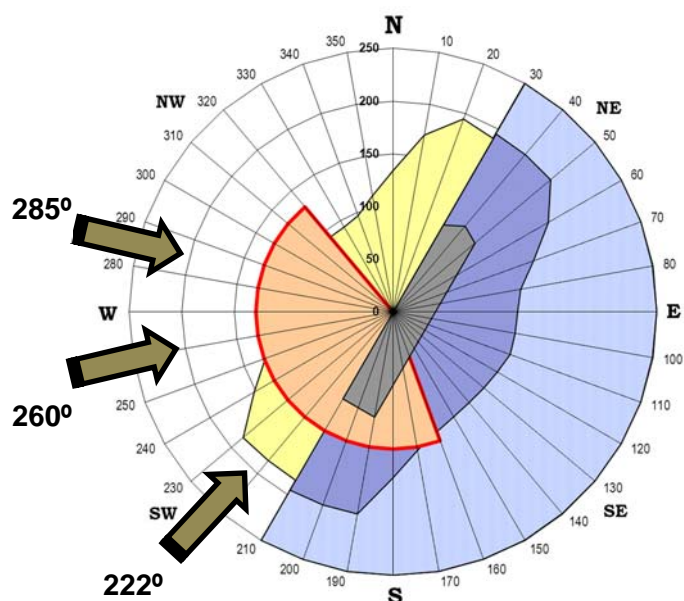


Figura 5.48 Representación gráfica de las velocidades máximas soportadas por el amarre del Neva River en el muelle 14 de Ferrol. Fuente: Autor

El sistema se ha replicado en el plano de amarre correspondiente con el fin de tomar las medidas de los ángulos y longitudes de los cabos y se ha procedido a la realización del cálculo sobre el libro de Excel⁹⁶ del que se ha extraído el gráfico de velocidades de la figura 5.48. De un análisis detallado del mismo se observa que el sistema soporta el viento procedente de 222°, pero es insuficiente para 260° y 285°. Las velocidades de viento máximas para cada una de las direcciones consideradas corresponden a las indicadas en la tabla de la figura 5.49.

DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD MÁXIMA
222°	185 km/h
260°	115 km/h
285°	103 km/h

Figura 5.49 Velocidades máximas soportadas por el amarre del Neva River en el muelle 14 de Ferrol en función de las direcciones de viento consideradas. Fuente: Autor

De los 52 casos analizados en el estudio de PROES, se han tomado como referencia aquellos que sirven de base para cada una de las direcciones de viento consideradas ya que no contemplan la ayuda de otros medios más que el propio amarre, que son los siguientes:

- **Caso 1:** Viento procedente de la dirección 222° (16° desde la popa). El sistema de amarre soporta la acción del viento.

⁹⁶ Los cálculos y planos correspondientes se encuentran de forma íntegra dentro del Anexo 5.4.

- **Caso 18:** Viento procedente de la dirección 260° (54° desde la popa). El sistema de amarre no soporta la acción del viento si los frenos de las maquinillas no funcionan correctamente.
- **Caso 39:** Viento procedente de la dirección 285° (79° desde la popa). El sistema de amarre se rompe.

A diferencia del estudio anterior, los resultados no se ofrecen de forma gráfica, por lo que el análisis comparativo se presenta más complicado. La verificación consistirá en el análisis del porcentaje de carga de las amarras de ambos sistemas de cálculo en los tres sistemas afectados (traveses de proa, traveses de popa y esprines de proa).

OPTIMOOR obtiene las tensiones individuales de cada uno de los cabos, teniendo en cuenta su longitud total. El programa de Excel, sin embargo, proporciona la resistencia máxima de cada uno de los sistemas así como la fuerza que han de soportar éstos en función del ángulo de ataque, con lo que podemos obtener el porcentaje de carga medio de cada uno. La similitud obtenida cuando comparamos ambos cálculos se muestra en la tabla de la figura 5.50. Resulta necesario mencionar en este punto que los *springs* de proa no han sido considerados en el caso 39 debido a que la fuerza que han de soportar es prácticamente nula.

CASO	SISTEMA	CÁLCULO EN LIBRO EXCEL			OPTIMOOR
		FUERZA SOPORTADA	RESISTENCIA MÁXIMA	PORCENT.	
CASO 1	TRAVERSES PROA	28 tons	418 tons	6,7%	De 8 a 19 %
	TRAVERSES POPA	108 tons	583 tons	18,5%	De 17 a 20 %
	SPRINES PROA	163 tons	589 tons	27,7%	De 15 a 21 %
CASO 18	TRAVERSES PROA	222 tons	418 tons	53,1%	De 47 a 80 %
	TRAVERSES POPA	416 tons	583 tons	71,4%	De 72 a 81 %
	SPRINES PROA	99 tons	589 tons	16,8%	De 21 a 31 %
CASO 39	TRAVERSES PROA	358 tons	418 tons	85,6%	De 72 a 83 %
	TRAVERSES POPA	457 tons	583 tons	78,4%	De 58 a 65 %

Figura 5.50 Comparativa de los porcentajes de esfuerzo de líneas de carga en relación a su MBL (Amarre Neva River en muelle 14 Ferrol). Fuente: Autor

5.7.3 CASO 3: LNG BARCELONA KNUITSEN EN EL MUELLE DE REGANOSA

El tercer caso estudiado corresponde al buque LNG *Barcelona Knutsen* amarrado en el muelle de la planta regasificadora de la Ría de Ferrol. El estudio de OPTIMOOR que, amablemente nos cedió Reganosa, fue elaborado por el diseñador del programa (*Tension Technology International, Ltd.*) para analizar la resistencia del amarre a vientos de 60 nudos que soplen en cualquier dirección conjuntamente con las velocidades y orientaciones de corriente recomendadas por la OCIMF.

Dicho estudio concluye que la disposición de amarre constituida por 24 cabos de alambre de 42 milímetros de diámetro y 124 toneladas de MBL es capaz de soportar las condiciones mencionadas tras analizar seis casos distintos (cinco de ellos en lastre con distintas velocidades y direcciones de corriente

y el sexto replicando el peor de los anteriores, en condiciones de carga). Es digno de mención el hecho de que, debido a que las fuerzas generadas por la corriente son de una magnitud mucho menor a aquellas provocadas por el viento (tal y como hemos concluido en el capítulo 5.2.2), en los cinco primeros casos, las reacciones de los cabos son prácticamente idénticas.

Una vez calculadas las longitudes y ángulos de los cabos de amarre e insertados los datos del buque en nuestro libro de Excel⁹⁷, se ha obtenido como resultado la gráfica de velocidades máximas que refleja la figura 5.51, de donde puede también concluirse que el sistema soporta 60 nudos (111 km/h) de velocidad de viento procedente de cualquier dirección con un cierto margen de seguridad (hasta 130 km/h).

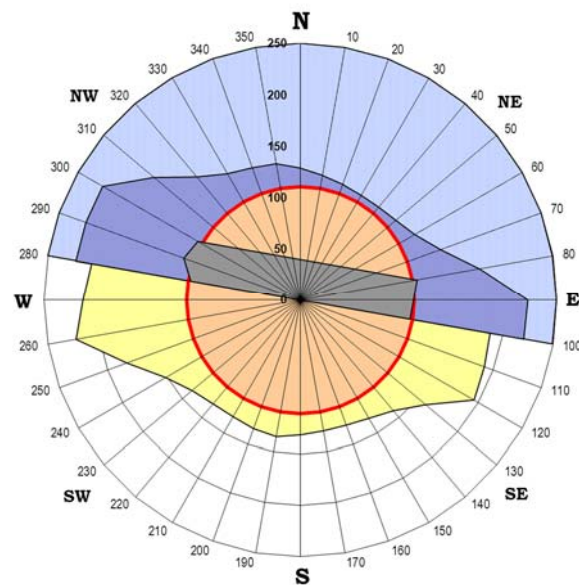


Figura 5.51 Diagrama polar de velocidades máximas de viento admisibles por el amarre (Barcelona Knutsen en muelle de Reganosa). Fuente: Autor

CASO	OPTIMOOR			CÁLCULO EN LIBRO EXCEL		
	V_c	θ_c	% MBL	SISTEMA	CABOS	% MBL
CASO 1	3 nudos	180°	Del 20 al 22,6 %	ESPRINES DE POPA Y LARGOS DE PROA	2,3,4,14,15	17%
CASO 2	3 nudos	0°	Del 25 al 39 %	ESPRINES DE PROA Y LARGOS DE POPA	12,13,22,23,24	22%
CASO 5	0,75 nudos	90°	Del 21 al 48 %	TRAVERSESES PROA	2,3,4,5,6,8,9	40%
			Del 33 al 40 %	TRAVERSESES POPA	16,17,20,21,22,23,24	41%

Figura 5.52 Comparativa de los porcentajes de esfuerzo de líneas de carga en relación a su MBL (Amarre Barcelona Knutsen en Reganosa). Fuente: Autor

Al igual que en el caso anterior, la comparativa no es sencilla por no disponer de una gráfica de OPTIMOOR que indique las velocidades máximas en función del ángulo de ataque, además de

⁹⁷ En el Anexo 5.5 pueden encontrarse tanto el estudio de OPTIMOOR como el libro de Excel con los datos y resultados correspondientes a este amarre.

presentarse los resultados en ambos programas de manera muy dispar, por lo que replicaremos el mismo procedimiento con el fin de calcular la resistencia del sistema crítico de acuerdo a cada una de las direcciones de corriente consideradas. Así obtendremos una tabla comparativa como la reflejada en la figura 5.52 que muestra la similitud de los resultados obtenidos, especialmente en los sistemas que han de soportar mayor carga (traveses de proa y popa).

5.7.4 CASO 4: LNG MARGARET HILL EN MUELLE 11 FENE

El estudio del amarre del buque LNG Margaret Hill en el muelle 11 de Fene fue encargado por NRFF a la empresa PROES en el invierno del año 2009 para servir de ayuda al dimensionamiento y posicionado de tres nuevos norayes que pudieran soportar velocidades de viento de través de 130 km/h (150 km/h de valor de racha considerando el modelo Harris-Davenport).

El cálculo está realizado en la versión 5.5.1 de OPTIMOOR y contempla el uso de los 18 cabos del buque, junto con 5 amarras de refuerzo del Astillero.

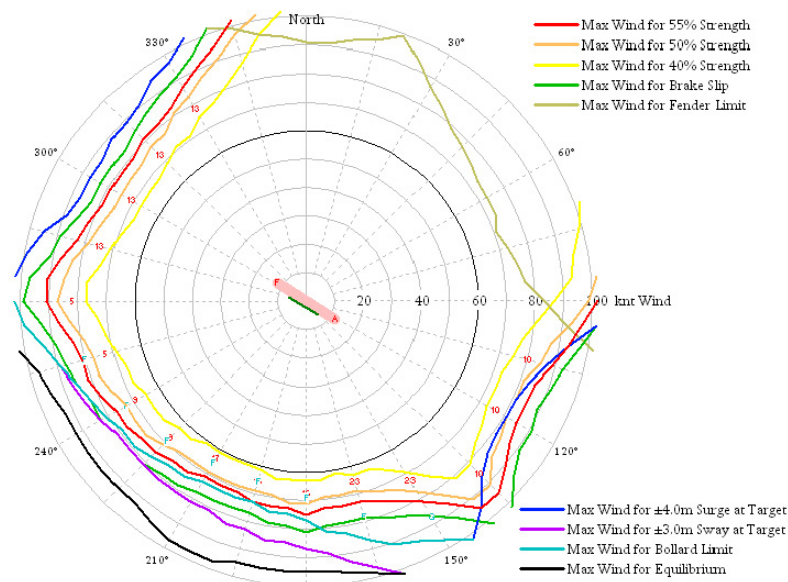


Figura 5.53 Rosa de los vientos de OPTIMOOR indicando los límites de esfuerzo de los cabos de amarre (Margaret Hill en muelle 11 de Fene). Fuente: PROES (Disponible en Anexo 5.6)

Al igual que en los casos anteriores, se introdujeron en el libro de Excel los datos del buque y las longitudes y ángulos de las amarras con el fin de duplicar el mismo cálculo. En el Anexo 5.6 podemos encontrar el plano de configuración del amarre y los resultados de ambos estudios.

Aunque a simple vista puede apreciarse la similitud entre la línea amarilla de OPTIMOOR, que indica el 55% de tensión de las amarras, con la obtenida con el cálculo de Excel, se ha procedido a la medición de los valores de la primera de acuerdo a sus coordenadas polares con la ayuda de AutoCad y a extraer los correspondientes de nuestro programa. La comparativa, sobre una gráfica de *Matlab*, indicada en la figura 5.55, confirma la coincidencia de resultados.

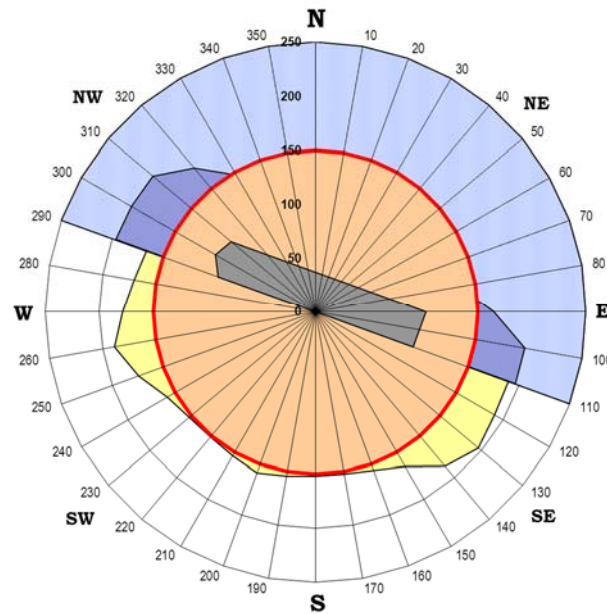


Figura 5.54 Rosa de los vientos de EXCEL (Margaret Hill en muelle 11 de Fene) (disponible en Anexo 5.6). Fuente: Autor

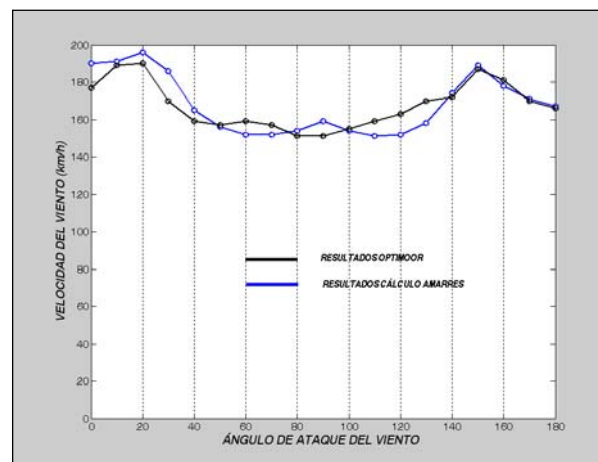


Figura 5.55 Comparativa de velocidades máximas admisibles (Margaret Hill en muelle 11 Fene). Fuente: Autor

5.8 CONCLUSIONES

La finalidad del sistema de cálculo diseñado no ha sido, en ningún caso, ofrecer un análisis exhaustivo de las fuerzas que intervienen en el amarre, sino que desde el inicio se ha planteado como una herramienta necesaria para alcanzar unos objetivos claros, identificados en las primeras líneas de este capítulo, los cuales evaluaremos individualmente a continuación, después de haber llevado a cabo la validación del sistema de cálculo y considerando los resultados de la misma:

1. *Rapidez en la obtención de resultados, con el fin de destinar el menor número de recursos posible.* Los cálculos preliminares e introducción de los datos requeridos por el libro de cálculo, junto con la elaboración del informe final constituyen un proceso en el que debe de invertirse menos de una hora de trabajo.

2. *Requerimientos mínimos de formación para el manejo del programa, con el objeto de que el abanico del personal que los pueda realizar pueda ser lo más amplio posible.* La facilidad para la localización de los datos necesarios así como la familiaridad de nuestro personal con el manejo de Microsoft Excel han facilitado que, en la actualidad, tres personas de nuestra Oficina Técnica puedan realizar el cálculo sin necesidad de ayuda.
3. *Veracidad de los resultados obtenidos, que habrán de validarse por comparación con el software especializado.* Aunque existe coincidencia de conclusiones en los casos 2 y 3, la falta de datos no ha permitido una comparativa determinante. Sin embargo, las representaciones gráficas de las figuras 5.46 y 5.54, correspondientes a los casos 1 y 4 no dejan duda de la validez del sistema como herramienta de cálculo.
4. *Facilidad para la realización de análisis posteriores en el caso de que no se cumplan las condiciones requeridas, con lo que servirá de ayuda para la toma de decisiones.* Tanto la representación gráfica de la última página del informe como los análisis individuales de cada uno de los sistemas (traveses de popa, traveses de proa, esprines de proa y de popa) facilitan en gran medida la identificación de los puntos débiles del amarre y permiten decidir los refuerzos necesarios.
5. *Elaboración de un informe final claro que pueda ser entendido por personas ajenas al cálculo (capitanes, inspectores, etc.).* Debido a que la utilización de la guías OCIMF y SIGGTO está extendida internacionalmente en el mundo marino, se ha tratado en todo momento de que tanto la realización de los cálculos como la presentación de resultados sigan lo más fielmente posible su estructura para facilitar su entendimiento. No se descarta, sin embargo, en función de los comentarios que se reciban en el futuro, la necesidad de modificar la presentación final o anexas un documento explicativo.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE ATRAQUE Y AMARRE

6.1 ANÁLISIS DE LOS MEDIOS DE ATRAQUE Y AMARRE

Una vez conocidas las magnitudes y direcciones de los vientos y corrientes que afectan a nuestros muelles así como las fuerzas inducidas por los mismos, se hace necesario estudiar si los medios disponibles en el Astillero son adecuados para soportarlos. Resultará imprescindible, de esta forma, la definición, con carácter previo, de las condiciones generales a cumplir con el fin de analizar, de forma independiente, los dos sistemas siguientes:

1. Sistema de defensas.
2. Sistema de amarre.

Cuando hayamos establecido los elementos básicos necesarios, tendremos que elaborar una evaluación individual de la exposición al riesgo de cada uno de los muelles de acuerdo con las condiciones fijadas y, en base a la misma, preparar un plan de acción que, debidamente priorizado, tienda a corregir las deficiencias o carencias detectadas.

6.2 MANIOBRA Y DEFENSAS

En la Sección 5.4 del capítulo anterior hemos definido tanto las características principales de las defensas utilizadas en *NRFF* como el cálculo del número mínimo necesario para asegurar su integridad ante unas condiciones climatológicas fijadas previamente mientras el buque se encuentra amarrado. Sin embargo, este cálculo resultaría incompleto si no tuviésemos en cuenta también el análisis de la resistencia necesaria para soportar las fuerzas generadas por el barco durante su maniobra de atraque.

El Ministerio de Fomento del Gobierno de España, a través del organismo público “*Puertos del Estado*” ha puesto en marcha el programa *ROM* de normalización en el ámbito de la planificación, proyecto, ejecución y explotación de los puertos, para lo que ha editado una serie de recomendaciones que nos servirán de guía en nuestro estudio particular.

Por otro lado, algunos fabricantes de defensas de reconocido prestigio internacional indican su propio método de cálculo para el diseño de sistemas que ofrezcan la resistencia y protección necesarias, tanto de buques como de muelles, los cuales, en líneas generales, coinciden con las recomendaciones citadas anteriormente, y también mantendremos como referencia.

Desde el punto de vista de la maniobra, la función del sistema de defensas del muelle es absorber la energía cedida por el buque en el atraque, disminuyendo, a su vez, el impacto contra el mismo. Por este motivo, ha de diseñarse de tal forma que la energía liberada por el buque no exceda de la que es capaz de recibir dicho sistema.

6.2.1 ENERGÍA TRANSMITIDA POR EL BUQUE EN EL ATRAQUE

La cantidad de energía que contiene el buque en movimiento es proporcional a la masa y al cuadrado de su velocidad en el momento del atraque, con lo que, a primera vista, puede parecer que su cálculo es un proceso sencillo. Sin embargo, existe todo un abanico de factores que influyen tanto en la cuantificación

de la cantidad de energía que ha de ser transferida como en la forma en que la misma se transmite, entre los que podemos citar:

- Características del buque, *tales* como su eslora, manga, calado, situación de carga, forma o capacidad resistente del casco. En nuestro caso particular tendremos como referencia, al igual que en los capítulos anteriores, aquellos buques de transporte de gas natural licuado que, por su tamaño, podrían ser varados en el mayor de los diques de *NRFF*.
- Características del sistema de atraque: Cantidad de energía que puede absorber e interferencia con el buque durante la maniobra.
- Tipo de maniobra de atraque, que se encuentra tipificado, y, en nuestro caso, corresponde al “*lateral mediante traslación transversal auxiliado por remolcadores*”, utilizado en los muelles de Ferrol para buques mayores de 210 metros de eslora, de acuerdo con los Criterios de Navegación dictados por su Capitanía Marítima.
- Agentes físicos, tales como viento, corriente y oleaje que pudieran intervenir durante la realización de las maniobras.
- Dependencia del factor humano en lo referente a la habilidad de práctico, remolcadores, amarradores y tripulación que interviene en la operación de amarre.

Para el caso de atraques laterales, la energía cinética que el buque ha de ceder al sistema de atraque (E_f) viene determinada por la expresión:

$$E_f = E_b \cdot C_t \quad (6.1)$$

Donde E_b es la energía cinética desarrollada por el buque y C_t es un coeficiente no dimensional denominado “*coeficiente de atraque*” que refleja una serie de variantes geométricas y de características de los materiales que intervienen en la forma de transferencia de la energía. Viene definido por el producto de otros cuatro coeficientes, también adimensionales:

$$C_t = C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s \quad (6.2)$$

donde,

- C_e es el coeficiente de excentricidad.
- C_g es el coeficiente geométrico del buque.
- C_c es el coeficiente de configuración del atraque.
- C_s es el coeficiente de rigidez del sistema de atraque.

La energía cinética desarrollada por el buque (E_b) se define con la expresión:

$$E_b = \frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_b)^2 = \frac{1}{2g} (C_m \Delta) \cdot (V_b)^2 \quad (6.3)$$

Donde,

- C_m es el coeficiente de masa hidrodinámica.

- M_b es la masa del buque, igual a su desplazamiento (Δ) dividido por la aceleración de la gravedad (g).
- V_b es la proyección perpendicular al muelle de la velocidad de aproximación del buque.

Sustituyendo en la expresión (6.1) los valores de C_t y E_b indicados en las fórmulas (6.2) y (6.3), obtendremos la expresión siguiente:

$$E_f = \left[\frac{1}{2g} (C_m \Delta) \cdot (V_b)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s \quad (6.4)$$

A lo largo de las páginas siguientes estudiaremos cada uno de estos coeficientes de forma individual y los cuantificaremos para el mismo buque que nos ha servido de ejemplo para el cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento y corriente (LNG *BAYELSA*).

Coefficiente de masa hidrodinámica (C_m):

El buque, en su movimiento de aproximación al muelle, arrastra también un volumen de agua que incrementa la masa que ha de considerarse para el cálculo de energía cinética a transferir al sistema de defensas, definido de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C_m = \frac{M_b + M_w}{M_b} \quad (6.5)$$

Donde M_b representa la masa del buque y M_w la del agua que se mueve con él. La magnitud de esta última depende de varios factores, tales como:

- Calado bajo la quilla
- Formas de la obra viva y relación calado/manga
- Características de la maniobra
- Sentido de las corrientes marinas

Algunos autores refieren este coeficiente solamente a las formas del buque y lo calculan de acuerdo a la siguiente relación:

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \cdot \frac{d_c}{B} \quad (6.6)$$

Siendo d_c el calado en máxima carga, B la manga y C_b el coeficiente de bloque, el cual viene determinado por:

$$C_b = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot d \cdot \rho_c} \quad (6.7)$$

Donde L es la eslora, d es el calado en una condición particular y ρ_c la densidad del agua de mar. El coeficiente de bloque da una indicación de las formas del barco dotado de más o menos finos.

El cálculo de los coeficientes C_m y C_b para nuestro buque es un proceso sencillo si establecemos un calado de atraque de 9 metros, habitual en su condición de navegación en lastre, que corresponde, a la vez, a la situación normal de llegada al Astillero.

Δ	L	B	d	ρ_c	d_c	C_b	C_m
78000	288,8	48	9	1,025	12,3	0,61	1,66

Figura 6.1 Cálculo de C_b y C_m para el buque LNG BAYELSA (disponible en **Anexo 6.2**). Fuente: Autor

Extrayendo el valor del desplazamiento correspondiente a 9 metros de calado del plano de capacidades (disponible en el Anexo 6.1), la tabla de la figura 6.1 obtiene el resultado de 0,61 para el coeficiente de bloque y 1,66 para el de masa hidrodinámica.

Sin embargo, en el cálculo anterior no se tiene en cuenta el calado bajo la quilla, cuando éste tiene una influencia primordial en la masa de agua arrastrada durante la maniobra. Las normas ROM cuantifican el coeficiente de masa hidrodinámica entre los valores de 1,5 en el caso de que la distancia de la quilla al fondo sea mayor de la mitad del calado del buque y de 1,8 cuando esta distancia es menor o igual al 10% del calado, independientemente de las formas del buque, lo cual merece mayor confianza (ROM 2.0-11, p. 44). De esta forma, para el mismo ejemplo, C_m tomará el valor de **1,8** al considerarse exactamente el 10% como margen de seguridad en el Protocolo de atraque de buques en NRFF con respecto al calado de la bajamar equinocial.

Componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (V_b)

Como se deduce de la expresión (6.4), la velocidad de aproximación del buque al muelle constituye un parámetro fundamental ya que la energía transferida es función del cuadrado de la misma. Su valor es dependiente de un amplio número de factores, entre los que cabe citar:

- Tamaño del buque: La velocidad debe de ser inversamente proporcional al mismo.
- Superficie de exposición al viento: Los buques cruceros y de transporte de automóviles o gas licuado necesitan, por las grandes fuerzas generadas, una menor velocidad de aproximación.
- Características de maniobrabilidad del buque: La existencia de hélices transversales facilitan la maniobra y, por lo tanto, permiten su acercamiento al muelle a velocidades más reducidas.
- Utilización de remolcadores: Al igual que el factor anterior, permite la mejora en el control de aproximación.
- Condiciones medioambientales: Pueden influir en la maniobra incrementando de manera repentina la velocidad⁹⁸.

⁹⁸ En este sentido es importante resaltar que la influencia de las fuerzas medioambientales, tales como el viento o la corriente tienen un mayor efecto sobre el buque cuanto menor sea la velocidad debido a la reducción de su resistencia hidrodinámica al desplazamiento, un dilema, al que tiene que enfrentarse el maniobrista en las maniobras de atraque que necesariamente han de llevarse a cabo a bajas velocidades.

El conjunto de los factores citados hace que la responsabilidad de la determinación de la velocidad de aproximación recaiga más en datos basados en la experiencia que en posibles formulaciones. Sin embargo, las fuentes de referencia establecen unos patrones que permiten su identificación en función del desplazamiento del buque.

Así, el catálogo de productos de *Shibata*, de acuerdo al caso que estamos analizando y teniendo en cuenta maniobras de aproximación al muelle de cierta dificultad para buques de más de 70.000 toneladas de peso muerto y con ayuda de remolcadores, concluye en un valor de velocidad de aproximación de 0,08 m/s (véase figura 6.2).

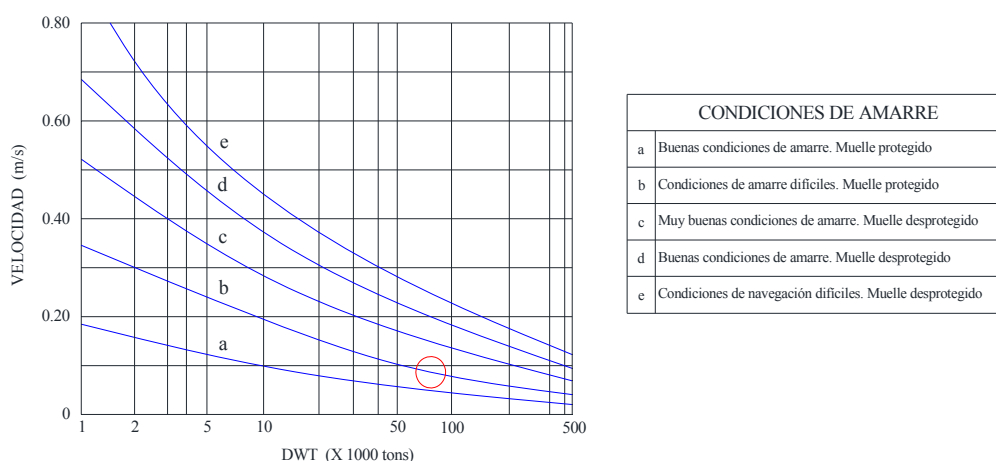


Figura 6.2 Valor de la velocidad de aproximación en función de las condiciones del amarre. Fuente: *Shibata Industrial Marine Products Catalogue*, 2012, p. 6

Se ha realizado una consulta a los Prácticos de Ferrol con el fin de corroborar el dato anterior y, basándose en el dispositivo de indicación de distancia al muelle montado en la terminal de Reganosa, dentro de la Ría de Ferrol, nos confirman que las máximas velocidades alcanzadas son de 0,2 nudos (0,1 m/s) en esta terminal, mientras que en los muelles de Navantia, debido al diferente tipo de defensas utilizado, difícilmente se alcanzan los 0,15 nudos (0,077 m/s) ya que éstas presentan menos resistencia y, a la vez, producen un mayor rebote, con lo que la velocidad de aproximación ha de ser necesariamente inferior.

Por otro lado, ha de tenerse en cuenta la posibilidad de que la maniobra pudiera realizarse en condiciones meteorológicas adversas que tendrían una influencia determinante en la velocidad a la que el buque entra en contacto con la defensa. Aunque los Criterios de Navegación del Puerto de Ferrol fijan el límite de velocidad del viento en 25 nudos (12,75 m/s) para la realización de las maniobras de los buques que estamos considerando, no puede descartarse que se supere en algún momento del atraque.

Por todo ello, siendo conscientes de la relevancia de este dato en la determinación de la energía cedida en el atraque, en este caso aplicaremos la regla más restrictiva, que corresponde a la indicada por las normas *ROM*, y que se muestra en la figura 6.3, de acuerdo con las condiciones climáticas definidas en la figura 6.4.

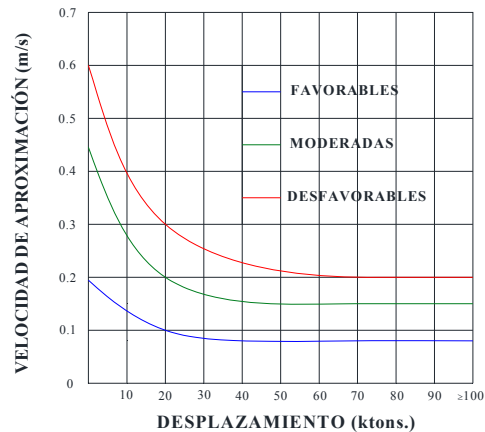


Figura 6.3 Valor de la velocidad de aproximación en función del desplazamiento el buque. Fuente: ROM 2.0-11, p. 48

	CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LA MANIOBRA		
	FAVORABLES	MODERADAS	DESFAVORABLES
VELOCIDAD VIENTO	< 17m/s	< 17m/s	> 17m/s
VELOCIDAD CORRIENTE	< 1m/s	≥ 1m/s	≥ 1m/s
ALTURA DE OLA	< 2m.	< 2m.	≥ 2m.
ONDA GENERADA POR BUQUES EN TRÁNSITO	< 2m.	< 2m.	≥ 2m.

Figura 6.4 Condiciones climáticas durante la maniobra. Fuente: ROM 2.0-11, p. 48

De esta forma, fijamos la velocidad de aproximación (V_b) en **0,15 m/s** teniendo en cuenta un desplazamiento de 78000 tons (LNG BAYELSA con 9 metros de calado), condiciones “moderadas” y “con ayuda de remolcadores”.

Coefficiente de excentricidad (C_e)

Si tenemos en cuenta que el buque difícilmente atracará de forma paralela al muelle, sino que formará un ángulo λ entre su línea de crujía y la del propio muelle, tal y como se muestra en la figura 6.5, parte de la energía cinética desarrollada se va a invertir en producir un giro en la popa del mismo, disminuyendo así la energía transferida a la defensa. Este efecto se debe a la aparición de un par de fuerzas cuyo brazo de giro viene determinado por la distancia entre el centro de gravedad del buque y el punto de contacto con la defensa.

Dependiendo de las características del buque, el coeficiente de excentricidad viene determinado por la expresión (6.8).

$$C_e = \frac{K^2 + r_c^2 \cos^2 \varphi}{K^2 + r_c^2} \quad (6.8)$$

Siendo,

- K : Radio de giro del buque con respecto al eje vertical que pasa por su centro de gravedad, que viene determinado por su momento de inercia. Puede aproximarse, en función del coeficiente de bloque (C_b) y de la eslora (L), de acuerdo con relación siguiente:

$$K = (0,19 \cdot C_b + 0,11) \cdot L \quad (6.9)$$

- r_c : Distancia entre el centro de gravedad del buque y el punto de impacto con el sistema de defensas, medida sobre la línea de muelle (véase figura 6.5). Esta magnitud varía con el tipo, condición de carga, calado y las formas propias del buque. De acuerdo con la figura mencionada, viene definida por la expresión (6.10), donde el valor de r puede aproximarse a un cuarto de la eslora.

$$r_c = r \cdot \cos \lambda - \frac{B}{2} \cdot \sin \lambda \quad (6.10)$$

- ϕ : Ángulo formado entre el vector que representa la velocidad de aproximación y la línea que une el centro de gravedad del buque con el punto de contacto. En función del ángulo de aproximación λ será:

$$\phi = 90^\circ - \lambda - \arctg \frac{B}{2r} \quad (6.11)$$

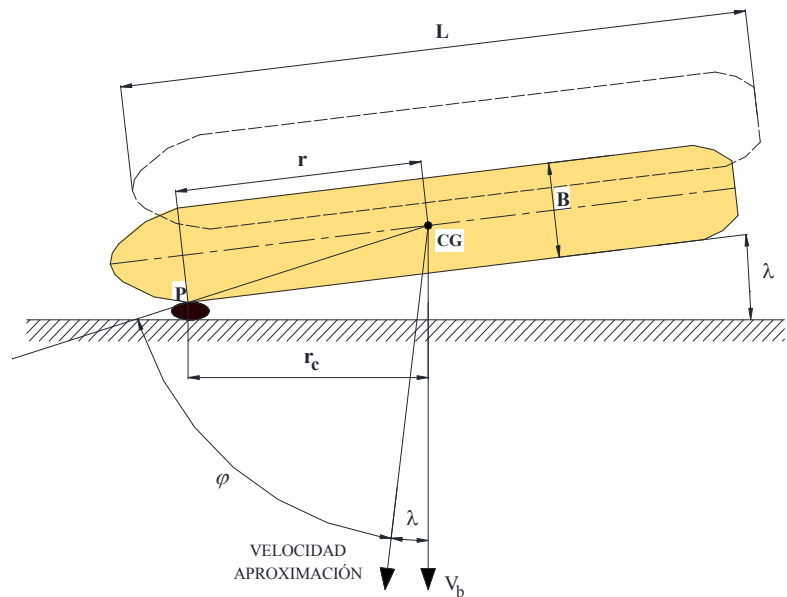


Figura 6.5 Cálculo del coeficiente de excentricidad. Fuente: Fuente: ROM 2.0-11, p. 43

Considerando un ángulo de aproximación λ igual a 5° (recomendado para buques mayores de 70.000 toneladas de desplazamiento), y los datos correspondientes al buque LNG *BAYELSA*, tras la aplicación de las fórmulas descritas (6.8 a 6.11), obtendremos los resultados indicados en la figura 6.6.

λ	r	C_b	L	B	ϕ	r_c	K	C_e
5	72,2	0,61	289	48,0	66,6	69,8	65,2	0,55

Figura 6.6 Cálculo de C_e para el buque LNG *BAYELSA* (disponible en **Anexo 6.2**). Fuente: Autor

Coefficiente geométrico del buque (C_g)

Indica la parte de energía que se transfiere al sistema de atraque por efecto de la curvatura del buque en el punto de contacto. Puede tomar los siguientes valores:

- $C_g = 0,95$, cuando el punto de contacto del buque con la defensa se produce en una zona curva de éste.
- $C_g = 1$, cuando dicho contacto tiene lugar en una zona plana.

En el caso de nuestro estudio, los buques de transporte de gas licuado tienen unas formas muy pronunciadas en sus extremos⁹⁹ y, en consecuencia, el coeficiente geométrico del buque resultará en un valor igual a **0,95**.

Coeficiente de configuración del atraque (C_c)

Tiene en cuenta el efecto amortiguador que produce la masa de agua que se encuentra entre el buque y el muelle y se encuentra influenciado por los siguientes factores:

- Distancia entre el muelle y casco del buque en su posición de atraque, determinado por el ancho de las defensas.
- Agua bajo la quilla (UKC)
- Formas de la obra viva del buque
- Relación entre las dimensiones del muelle y el barco a atracar.
- Disposición general del muelle, teniendo en cuenta si el buque se encuentra confinado en sus extremos.
- Tipología estructural del muelle, distinguiendo si se trata de una estructura sólida y continua o si permite el paso del agua a su través (pantalán).

El último de los factores citados es el de mayor influencia en este coeficiente, de forma que C_c tomará el valor de 0,9 o 1, de acuerdo con la siguiente regla:

- $C_c = 0,9$ en el caso de muelle cerrados por sus extremos
- $C_c = 1$ para pantalanos y muelles con amplitud suficiente para desalojar fácilmente el agua contenida entre el muelle y el buque.

El caso particular de los muelles de *NRFF* se encuentra dentro del segundo supuesto, aunque sus amarres se realizan sobre estructuras sólidas y continuas. Tanto la amplitud de sus muelles con respecto a la eslora de los barcos que a ellos se atracan como el diámetro de las *Yokohamas* utilizadas (2,5 m.) lleva a definir el valor de C_c como igual a **1**.

⁹⁹ Esta particularidad se estudiará con más detalle a la hora de determinar la distancia entre defensas (véase figura 6.16).

Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s)

Dependiendo de la rigidez relativa entre el buque y el sistema de atraque, parte de la energía que ha de ceder el barco es absorbida por la deformación elástica producida en el casco en el momento del contacto. El coeficiente de rigidez del sistema de atraque trata de cuantificar esta relación, pudiendo tomar los siguientes valores:

- $C_s = 0,9$, en los dos casos siguientes:
 - ✓ Sistemas de atraque muy rígidos, cuando la deformación de la defensa sea menor o igual a 150 mm.
 - ✓ Buques cuya eslora sea igual o mayor a 300 m.
- $C_s = 1$, en el resto de los casos.

Tomaremos para nuestro cálculo $C_s = 1$, aunque la eslora se aproxima en gran medida a 300 metros. Sin embargo, el sistema de defensas neumáticas utilizado le confiere una gran elasticidad, generando como resultado una transmisión de energía hacia el buque extremadamente baja.

Cálculo de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_f)

Una vez definidos cada uno de los coeficientes que intervienen en la forma de transmisión de la energía cinética desde el buque al sistema de defensas, hemos de retomar la expresión (6.4).

Sustituyendo los valores obtenidos para nuestro estudio particular en cada uno de ellos y aplicándolos sobre los datos correspondientes al buque LNG *BAYELSA*, obtenemos la tabla de la figura 6.7.

C_m	Δ	V_b	C_e	C_g	C_c	C_s	E_f
1,80	780000	0,15	0,55	0,95	1	1	842

Figura 6.7 Cálculo de E_f para el buque LNG *BAYELSA* (disponible en **Anexo 6.3**). Fuente: Autor

El valor de la energía cinética resultante es:

$$E_f = 842 \text{ kJ} = 84,2 \text{ ton.m} \quad (6.12)$$

Impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque

Para completar el diseño del sistema de defensas es necesario tener en cuenta aquellos impactos extraordinarios que excedan de los considerados anteriormente y que pudieran producirse en las maniobras de atraque derivados de errores humanos, fallos de los sistemas del buque o remolcadores, cambios bruscos de las situaciones climáticas y, en general, de aquellas situaciones que pudieran

sobrepasar los límites fijados anteriormente, resultando necesario aplicar un coeficiente de seguridad al valor obtenido¹⁰⁰.

La bibliografía consultada difiere en el método de cálculo de este coeficiente. Así, las recomendaciones ROM (ROM 2.0-11, p.117) definen el mismo en función del desplazamiento del buque, de la velocidad de aproximación, de la frecuencia de amarre y de la utilización de remolcadores, de acuerdo a la tabla representada en la figura 6.8.

Y _{fi,1}		Y _{fi,2}		Y _{fi,3}		Y _{fi,4}	
DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE		MEDIOS AUXILIARES EN LA MANIOBRA		VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN		FRECUENCIA DE LLEGADAS AL ATRAQUE	
≤ 85.000 t.	> 85.000 t.	Sin remol.	Con remol.	≤ 0,1 m/s	> 0,1 m/s	>300 / año	≤ 300 / año
1,50	1,25	1,25	1,00	1,20	1,00	1,15	1,00

Figura 6.8 Factores parciales del coeficiente de impacto accidental. Fuente: ROM 2.0-11, p. 117

El producto de los factores parciales obtenidos para cada una de las situaciones nos indicará el valor del coeficiente para una probabilidad de fallo menor del 5%, de acuerdo con la ecuación (6.13).

$$\gamma_{fi/5\%} = \prod_{j=1}^4 \gamma_{fi,j} \quad (6.13)$$

Para nuestro caso particular, el resultado sería el reflejado en la figura 6.9 (desplazamiento menor de 85000 tons, con ayuda de remolcadores, con velocidad de aproximación mayor de 0,1 m/s y menos de 300 maniobras por año).

Y _{fi,1}	Y _{fi,2}	Y _{fi,3}	Y _{fi,4}	Y _{fi/5%}
1,50	1,00	1,00	1,00	1,50

Figura 6.9 Cálculo del factor de impacto accidental para el buque LNG BAYELSA. Fuente: Autor

TIPO DE BUQUE	TAMAÑO	Y _{fi/5%}
PETROLEROS Y BULK-CARRIERS	GRANDE	1,25
PETROLEROS Y BULK-CARRIERS	PEQUEÑO	1,75
PORTACONTENEDORES	GRANDE	1,50
PORTACONTENEDORES	PEQUEÑO	2,00
CARGA GENERAL		1,75
RO-RO Y FERRIES		2,00
REMOLCADORES Y BOTES		2,00

Figura 6.10 Factor de impacto accidental según tipo y tamaño de buque. Fuente: Shibata Industrial Marine Products Catalogue, 2012, p. 8

¹⁰⁰ No se consideran impactos extraordinarios, tanto la colisión accidental o abordaje a otros buques, como seísmos u otros agentes de carácter insólito.

Aunque todos los autores coinciden en que este coeficiente en ningún caso debería de ser menor de 1,1, los fabricantes de defensas (*Shibata Industrial Marine Products Catalogue*, 2012, p. 8) lo establecen en función del tipo y tamaño de buques que usarán la instalación, de acuerdo con la tabla de la figura 6.10. Considerando que tanto petroleros como bulk-carriers de gran tamaño tienen asociado un valor de 1,25 para este coeficiente, validamos el resultado obtenido siguiendo las normas ROM (1,5). Con ello, la energía cinética incrementada de esta forma, será la indicada en la fórmula (6.14).

$$E'_f = E_f \cdot \gamma_{fi/5\%} \quad (6.14)$$

Para el caso particular del buque LNG *BAYELSA*, la energía obtenida finalmente, considerando la expresión (6.12), será:

$$E'_f = 1263 \text{ kJ} = 126,3 \text{ ton.m} \quad (6.15)$$

6.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS DEFENSAS

La energía cinética que el buque ha de transferir al sistema del ataque deberá ser absorbida conjuntamente por la defensa y por la estructura resistente, produciendo, de esta forma, una deformación en ambas. Sin embargo, y debido a que las defensas neumáticas utilizadas en los muelles de *NRFF* conforman un sistema muy elástico, especialmente si se compara con la rigidez de la estructura del ataque (bloques de piedra y hormigón), nos lleva a considerar que toda la energía cinética cedida por el buque será transmitida únicamente hacia la defensa, limitándose la estructura del muelle a soportar las cargas generadas por ésta.

La norma ISO 17357 especifica el material, comportamiento y dimensiones de las defensas de goma neumáticas flotantes de alta presión (comúnmente conocidas como “*Yokohamas*”), así como los procedimientos y pruebas para su inspección, con el fin de fijar los requerimientos mínimos para las mismas, independientemente de su fabricante y, de esta manera, estandarizar sus tamaños y resistencias. Las defensas neumáticas, tal y como puede observarse en la figura 6.11, poseen unas curvas de reacción de tipo exponencial que les confiere una particular protección contra las posibles deformaciones del costado del buque, aunque, como contrapartida, cabe citar el efecto rebote producido cuando la velocidad de aproximación es relativamente alta. Sus características principales están definidas por los parámetros siguientes:

- Energía de absorción garantizada: Es la energía mínima, incluyendo un factor de seguridad, que la defensa es capaz de soportar sin deformarse más allá del $60 \pm 5\%$.
- Fuerza de reacción: Es la fuerza ejercida sobre el casco del buque cuando la defensa se encuentra deformada en un 60%. Tiene una tolerancia de $\pm 10\%$.
- Presión de reacción: Es la presión que recibirá el buque como reacción, cuando la defensa esté comprimida entre el mismo y el muelle a un 60% de su diámetro original.

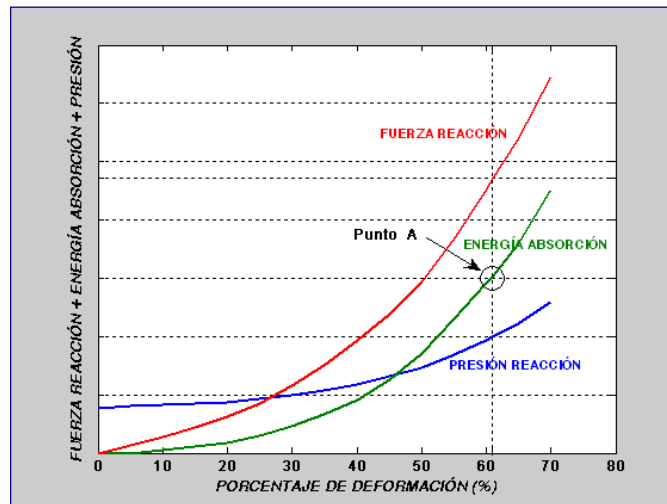


Figura 6.11 Curvas de comportamiento de las defensas neumáticas. Fuente: ISO 17357:2002, p. 6

De acuerdo con la mencionada norma ISO, las defensas han de evaluarse de acuerdo a un protocolo de pruebas consistente en:

- **Prueba de compresión paralela:** Aplicando una fuerza perpendicular al eje de la defensa, ésta se ha de comprimir hasta que se alcance la energía de absorción garantizada. El porcentaje de deformación (y) y la energía de absorción (E) se calculan en función de la deformación medida (L_c) y el diámetro en reposo de la defensa (A) de acuerdo a las relaciones (6.16) y (6.17).

$$y = \frac{L_c}{A} \times 100 \quad (6.16)$$

$$E = \int Q(x) \cdot dx \quad (6.17)$$

siendo $Q(x)$ la reacción a una determinada deformación y dx la deformación diferencial.

La defensa cumplirá con la prueba si alcanza el 100% de su energía de absorción sin exceder el 65% de la deformación (punto A de la figura 6.11) y el 110% de su fuerza de reacción.

- **Prueba de compresión angular:** Con el fin de asegurarse de que la defensa recupera su forma original tras la deformación.
- **Prueba de durabilidad:** Sometiéndola a 3000 ciclos de compresión paralela desde su diámetro original a la máxima deformación y observando posteriormente la ausencia de grietas o defectos en cualquier parte de la defensa.
- **Prueba de recuperación:** Consistente en someter a la defensa a compresiones/descompresiones rápidas, comprobando que recupera el 97% del diámetro original tras las mismas.
- **Prueba de pinchazo:** Para la cual se ha desarrollado la norma ISO 12236 que establece un protocolo para comprobar su resistencia a elementos punzantes.

En función de la disposición y grosor de las capas de caucho y entramado de cuerda que componen sus paredes, se distinguen dos tipos fundamentales de defensas neumáticas (*pneumatic 50* y *pneumatic 80*) que se designan de acuerdo con la presión inicial de inflado en kPa, dando lugar a las marcas 50/80 (véase la tabla de la figura 6.12).

La mencionada figura muestra un extracto de las características correspondientes al tamaño empleado en *NRFF* (2500 mm de diámetro x 5500 mm de longitud) distinguiendo los dos tipos mencionados. Es destacable el incremento de energía de absorción que supone la utilización del tipo “*pneumatic 80*” con respecto al “*pneumatic 50*” (entre el 30 % y el 40 % mayor).

TIPO	PNEUMATIC 50	PNEUMATIC 80
TAMAÑO NOMINAL (diám. x long. en mm.)	2500 x 5500	2500 x 5500
PRESIÓN INICIAL (kPa)	50	80
ENERGÍA DE ABSORCIÓN GARANTIZADA (kJ)	943	1317
FUERZA DE REACCIÓN (kN)	2019	2653
PRESIÓN DE REACCIÓN (kN / m ²)	148	195
AJUSTE VÁLVULA DE SEGURIDAD (kPa)	177	226

Figura 6.12 Comparativa de las propiedades de defensas (*pneumatic 50* / *pneumatic 80*). Fuente: ISO 17357:2002, p. 10-11

Tal y como se ha indicado en el capítulo anterior, las defensas utilizadas en *NRFF* son del tipo “*pneumatic 50*”, por lo que, a la vista de los datos facilitados por su tabla de características, difícilmente, en el caso de que el punto de contacto se encuentre concentrado en una sola unidad, podrá soportar, con los márgenes de seguridad designados, la energía transmitida de acuerdo con el resultado obtenido en la expresión (6.15) si mantenemos presente la velocidad de aproximación seleccionada. Sin embargo, las características especificadas para el tipo “*pneumatic 80*” se asemejan a los valores requeridos (1263 kJ). Por esta razón, este último modelo de defensas es el recomendable en el caso de adquisición de nuevas unidades.

6.2.3 ESPACIAMIENTO ENTRE DEFENSAS

El estudio de la distancia mínima necesaria entre las defensas que componen un sistema de unidades en serie debe de ir dirigido hacia los dos objetivos siguientes:

1. Protección del casco del buque, tratando de evitar que éste llegue a tocar el muelle en ningún momento.
2. Repartir el esfuerzo entre las unidades individuales que componen el sistema para evitar su sobrecarga.

Debido a que la aproximación del buque al muelle se realiza con un cierto ángulo λ , tal y como se observa en la figura 6.5, el primer contacto se producirá en las inmediaciones de la proa o popa, con lo

que las formas de los finos juegan un papel fundamental que resultan muy difíciles de modelar debido a la gran variedad existente en función del tamaño, tipo y diseño del astillero de construcción.

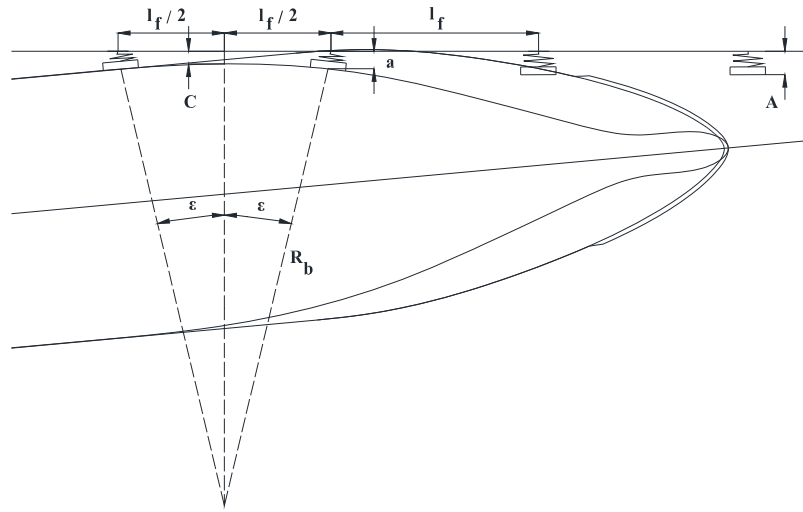


Figura 6.13 Espaciamiento entre defensas. Fuente: ROM 2.0-11, p. 110

Sin embargo, tanto las normas ROM como las recomendaciones de los fabricantes de defensas coinciden en que el espaciamiento mínimo entre defensas (l_f) ha de ser menor o igual al obtenido cuando se aplique la ecuación (6.18). La figura 6.13 nos proporcionará la ayuda necesaria para la identificación de las distintas variables.

$$l_f \leq 2\sqrt{R_b^2 - (R_b - a + C)^2} \quad (6.18)$$

siendo,

- R_b , el radio de curvatura del casco del buque en planta en la zona donde se produce el contacto, que puede determinarse aproximadamente de acuerdo a la expresión (6.19).

$$R_b \approx \frac{l}{2} \left(\frac{B}{2} + \frac{L^2}{8B} \right) \quad (6.19)$$

- a , distancia entre el buque y el muelle, medida en el centro de la defensa y considerando la deformación de ésta en el caso de que la energía de atraque sea absorbida por un único elemento. En nuestro caso particular, tomará un valor igual al 60% del diámetro original de la defensa (A).
- C , distancia mínima admisible entre buque y muelle, medida perpendicularmente a éste, que es función de las formas de los finos del barco, difícilmente cuantificables, como se indicó anteriormente. Se recomienda un valor igual al 15% de las dimensiones de la defensa sin comprimir (ROM 2.0-11, p. 109).

Una vez definidos estos parámetros, podemos calcular l_f para el caso particular del LNG BAYELSA. El resultado obtenido (32,9 m.) se muestra en la tabla de la figura 6.14.

B	L	R_b	A	a	C	I_f
48,0	288,7	120,5	2,5	1,5	0,4	32,9

Figura 6.14 Cálculo de I_f para buque LNG BAYELSA (disponible en **Anexo 6.4**). Fuente: Autor

Sin embargo, las citadas recomendaciones ROM indican que, aunque el valor obtenido de I_f fuese mayor, la distancia entre las defensas aisladas no debería de superar los 17 metros de distancia (ROM 2.0-11, p. 109).

La separación entre defensas utilizada tradicionalmente en los muelles de NRFF viene determinada por la distancia entre norayes. Veamos el motivo para tal disposición.

Con el objeto de facilitar el movimiento de las *yokohamas* entre muelles a la vez de adecuar el posicionamiento de las mismas en función de los tipos y tamaños de buque a ser reparados, en lugar de emplear como elemento fijo de amarre la sujeción (5), se ha incrementado la longitud de la cadena (3) conformando una gaza en su extremo por medio de un grillete de unión para ser encapillada al noray, tal y como indica la flecha de la figura 6.15.

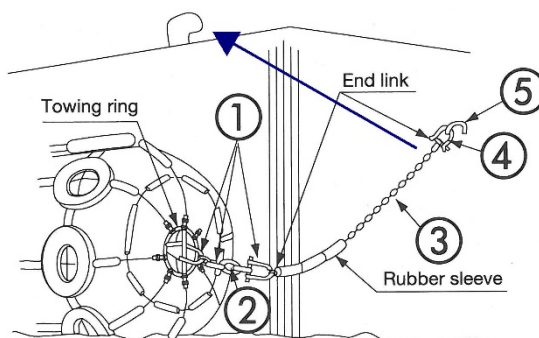


Figura 6.15 Detalle del amarre de las defensas al muelle. Fuente: Manual para defensas de goma neumáticas Yokohama (Yokohama Rubber Co., Ltd., FD 04, p. 25)

Así dispuesto, cada noray era capaz de afirmar ambos extremos de sujeción de la defensa.

Este sistema hubo de modificarse por su incapacidad de mantener la defensa paralela al muelle ante la acción del viento y marea, dificultando las maniobras de atraque, e incluso llegando a producir daños en la pintura de los cascos. En la actualidad, las defensas están posicionadas en la mitad de la distancia que separa dos norayes contiguos, utilizando los mismos como punto de fijación de cada uno de sus extremos. Esto significa que la separación entre defensas adoptada es igual a la separación entre norayes, que es por término medio igual a 35 metros, lo que supone el doble de la recomendación dictada por el programa ROM.

Resulta relevante destacar que desde la adquisición de este tipo de defensas, no se recuerda ningún incidente achacable a la excesiva separación entre las mismas, con lo que el posicionamiento de una

nueva defensa entre cada dos existentes, aunque pudiera suponer una inversión de mejora, no puede considerarse como prioritaria¹⁰¹.

Desde el punto de vista del reparto de las fuerzas debidas a la transmisión de la energía cinética del buque (segundo de los objetivos a cumplir en la definición del espaciamiento entre defensas), hemos de considerar que en los buques gaseros, debido a las acusadas formas de sus finos, el primer punto de contacto es función del ángulo λ de aproximación, de forma que si éste es alto, el buque tocará en la zona de finos, mientras que el contacto se producirá en la parte del costado paralelo cuando los ángulos de aproximación sean muy bajos.

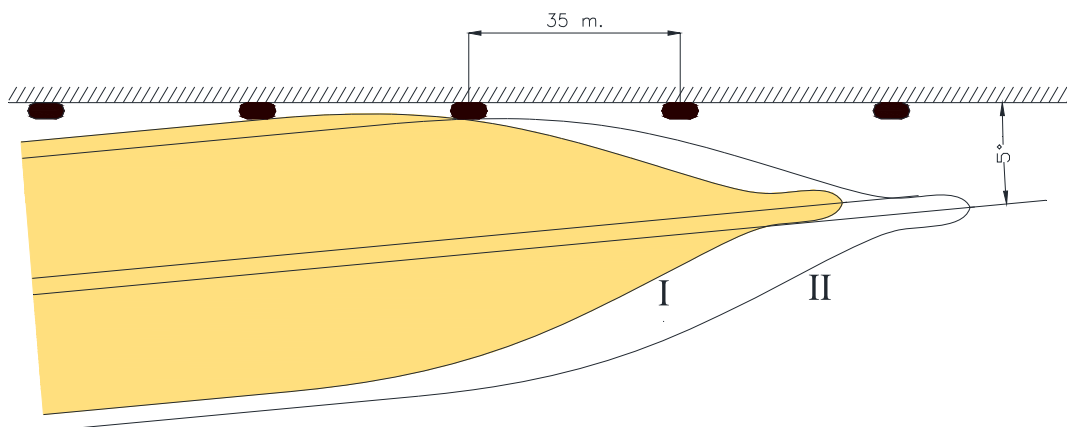


Figura 6.16 Punto de contacto con el sistema de defensas. Línea de agua del buque Madrid Spirit a 9,5 m. de la línea base (toque de defensas equivalente a un calado de 8,25 metros, considerando 2,5 metros de diámetro de las mismas). Fuente: Autor

Considerando esta última posibilidad, el ángulo mínimo de aproximación con el que el esfuerzo puede ser compartido por dos defensas podrá fijarse con la primera trabajando cerca de su deformación máxima mientras que la segunda comienza a deformarse.

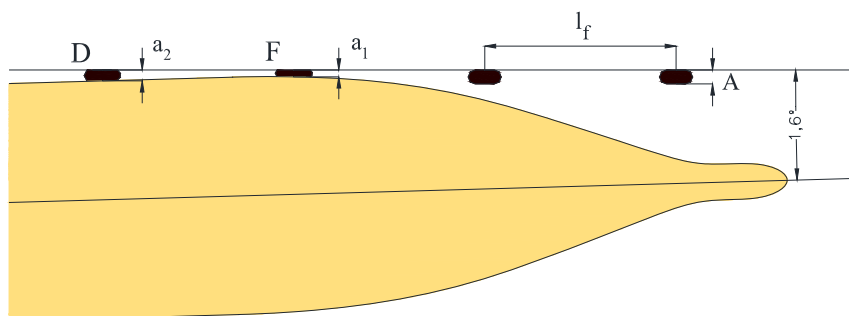


Figura 6.17 Contacto en dos defensas simultáneamente. Fuente: Autor

La figura 6.17 muestra un esquema simplificado con una deformación del 50% en la defensa F y un 10% en la D. La distancia entre ambas (l_f), según se ha explicado, es igual a 35 metros.

¹⁰¹ En el caso de considerar de manera exclusiva el primero de los objetivos planteados (protección del casco de un golpe directo contra el muelle).

El ángulo mínimo de aproximación λ , necesario para que se produzca el contacto simultáneo en dos defensas contiguas será el indicado en la expresión (6.20)

$$\lambda \geq \arctan \left(\frac{a_2 - a_1}{l_f} \right) \quad (6.20)$$

Sabiendo que el diámetro de las defensas utilizadas (A) es de 2,5 metros sin comprimir, si aplicamos la fórmula anterior, obtendremos un ángulo de aproximación mínimo de $1,6^\circ$ (figura 6.18). En el caso de disponer de una defensa intermedia que recortase l_f a un valor de 17,5 metros, el ángulo resultante¹⁰² sería de $3,3^\circ$.

A	a_2	a_1	l_f	λ
2,50	2,3	1,25	35,0	1,6
			17,5	3,3

Figura 6.18 Cálculo del ángulo mínimo de aproximación λ . Fuente: Autor

Quiere esto decir que, en la mayoría de los casos, toda la energía transferida se concentrará **en una sola defensa**. La recomendación de la adquisición paulatina del tipo PNEUMATIC 80 cobra, si cabe, mayor valor y fundamento.

6.2.4 REACCIÓN TRANSMITIDA AL BUQUE

Al comienzo del presente capítulo se dejó sentado el criterio de que las funciones primordiales del sistema de defensas son, por una parte, la absorción de la energía cedida por el buque en el ataque, y, por la otra, la disminución del impacto durante la maniobra. Quiere esto decir que la defensa ha de seleccionarse de tal forma que no produzca daños en el buque.

TIPO DE BUQUE	PRESIÓN ADMISIBLE (kN/m ²)
PORTACONTENEDORES 1ª-2ª generación	400
PORTACONTENEDORES 3ª generación	300
PORTACONTENEDORES 4ª generación	250
PORTACONTENEDORES 5ª-6ª generación	200
CARGUEROS ≤ 20.000 DWT	400 - 700
CARGUEROS > 20.000 DWT	400
PETROLEROS ≤ 60.000 DWT	350
PETROLEROS > 60.000 DWT	300
VLCC	150 - 200
TRANSPORTE DE GAS (LNG, LPG)	200
BULK-CARRIERS	200

Figura 6.19 Presión de reacción admisible en función del tipo de buque. Fuente: Shibata Industrial Marine Products Catalogue, 2012, p. 9

¹⁰² Recordemos que el ángulo de aproximación λ , recomendado para buques de desplazamiento mayor de 70.000 toneladas, es de 5° (considerado así en el cálculo del coeficiente de excentricidad).

Para conseguir tal fin, la presión de reacción originada en la defensa ha de ser inferior a la que puede soportar la estructura del buque. El valor de esta última variable depende de los siguientes parámetros:

- Tipo de buque (espesor del casco y clara de cuadernas).
- Tamaño (al incrementar el tamaño, normalmente se reduce la presión admisible).
- Astillero y año de construcción.
- Diseños especiales, entre lo que cabe mencionar aquellos buques que tienen prevista su navegación en aguas muy frías, tales como los denominados “ice-class”.

En la tabla mostrada en la figura 6.19, pueden consultarse los valores característicos de la presión que soportan los cascos en función del tipo de buque. Es de destacar que la tendencia de las nuevas generaciones es admitir progresivamente menores cargas y presiones¹⁰³.

Los valores de presión máxima reflejados en dicha tabla son los resultantes después de aplicar los factores de seguridad empleados por las Sociedades de Clasificación.

En el caso de utilización de defensas neumáticas, el cálculo de la presión de reacción de las mismas se simplifica al ser ésta equivalente a la existente en el interior de la defensa, independientemente de la dimensión de la superficie de contacto.

La presión máxima que puede generarse en el interior de la defensa neumática está limitada por su válvula de seguridad, cuya presión de ajuste viene determinada por el modelo seleccionado, de acuerdo a la tabla de la figura 6.12, donde puede apreciarse que varía desde los 177 kN/m² en las “*pneumatic 50*” hasta los 220 kN/m² para el tipo “*pneumatic 80*”.

Considerando que las cargas generadas en el atraque pudieran inducir presiones mayores a las soportadas por el modelo “*pneumatic 50*”, entendemos que se incrementa el margen de seguridad si la defensa elegida es la “*pneumatic 80*”, aun cuando exista el riesgo de sobrepasar los 200 kN/m² indicados en la tabla de la figura 6.18, ya que será menos dañino evitar un reventón y el consiguiente toque contra el muelle que las deformaciones que pueda ocasionar una defensa, especialmente cuando el buque se encuentra sin carga y amarrado en un Astillero de Reparaciones.

Derivado del estudio de las dimensiones y características de las defensas en función de la energía transferida por el buque así como de la distancia requerida entre las mismas y de la presión de reacción originada contra el casco del buque, podemos establecer, a modo de resumen, las siguientes recomendaciones:

1. Las defensas tipo *Yokohama*, por su resistencia, elasticidad y movilidad, permiten adecuar su disposición en función del muelle y eslora del buque a amarrar, y por lo tanto, conforman el tipo ideal para su uso en las instalaciones de NRFF.

¹⁰³ Este efecto se debe fundamentalmente al empleo de las nuevas técnicas de diseño a través de elementos finitos que, en general, traen consigo una reducción del escantillado del buque.

2. El número de defensas que se han de disponer en el muelle para el amarre de buques de transporte de gas licuado no puede determinarse desde el punto de vista de su maniobra de atraque debido al hecho de que el contacto del buque se producirá con mayor probabilidad en un sola unidad que tendrá que transmitir al muelle la totalidad de la energía que viaja con aquel. Este número vendrá definido a través del cálculo de las fuerzas provocadas por la acción del viento y la corriente de acuerdo al programa desarrollado en el capítulo 5.
3. Si bien la experiencia a lo largo de los últimos veinte años indica que el modelo “*pneumatic 50*” es apropiado para su uso con buques de transporte de gas licuado, afirmación que se apoya en el hecho de que durante este largo período solamente se han producido dos reventones de defensa durante las maniobras de atraque, es recomendable que las nuevas unidades que puedan necesitarse, se adquieran del tipo “*pneumatic 80*”.
4. Las defensas de mayor resistencia habrán de disponerse prioritariamente en las inmediaciones de los finos de proa y popa ya que es en estas zonas donde, con mayor probabilidad, se producirá el primer contacto con el buque.
5. Se considera recomendable, aunque no prioritaria, la reducción de la distancia entre las defensas a la mitad, intercalando una unidad entre cada dos existentes, especialmente en las zonas referidas anteriormente.

6.3 ELEMENTOS DE AMARRE

El diseño de las instalaciones que actualmente utiliza *NRFF* se remonta a los años 70, cuando la forma de amarrar los buques distaba en gran medida de la actual. Los elementos empleados entonces consistían en norayes tradicionales¹⁰⁴, alineados sobre el cantil del muelle permitiendo, básicamente, la disposición de largos y *springs*. Ello facilitaba el posicionamiento de las grúas muy cercano al buque, lo que mejoraba en gran medida su efectividad.

La evolución del transporte marítimo a lo largo de los años, dirigida hacia la minimización de costes a través de la construcción de unidades cada vez mayores, tiene una influencia decisiva en los elementos de amarre que los muelles han de disponer para conseguir una estancia segura en los mismos.

El incremento de tamaño mencionado trae como consecuencia una mayor superficie de exposición al viento (“*windage*”) que obliga a la reestructuración de los medios de amarre de los muelles y a la adaptación de los mismos a las necesidades actuales, tanto desde el punto de vista de su resistencia como de su compatibilidad con los elementos propios del buque que han sufrido también una modernización muy importante. En esta sección trataremos de sentar las bases para su definición.

¹⁰⁴ Similares al moderno tipo “T” y contruidos en acero fundido. Los pernos y tuercas de anclaje se encuentran bajo la superficie del muelle (puede verse un ejemplo en la figura 6.21).

6.3.1 NORAYES

El amarre de los buques en reparación dentro de las instalaciones de NRFF ha sufrido una evolución relevante en los últimos años, motivado, fundamentalmente, por dos incidentes ocurridos recientemente, que se relatan a continuación:

1. El 9 de febrero de 2008 se produce la rotura de un noray durante las operaciones de deslastre del buque LNG *BRITISH INNOVATOR*, que se encontraba amarrado al muelle número 9 de Ferrol. Tras la consiguiente investigación, se identificaron las siguientes causas:
 - El noray que resultó roto tenía encapilladas dos amarras trabajando de *spring*. La suma de los MBL de ambas era mayor que la resistencia del mismo.
 - La longitud desde la guía del buque al noray era muy corta, llamando el cabo con un ángulo cercano a la vertical, lo que indujo reacciones en el noray alejadas en gran medida de las de diseño.
 - La tripulación no vigiló debidamente las amarras del buque y éstas no fueron lascadas oportunamente de acuerdo con la disminución de su calado.
2. El 10 de septiembre de 2009, el buque LNG *MADRID SPIRIT* que se encontraba amarrado en el muelle 14 de Ferrol realizando también operaciones de deslastre, rompe un noray al cual estaban afirmados tres traveses de proa. Las imágenes de la rotura quedaron registradas en el sistema de video-vigilancia de las instalaciones. La figura 6.20 muestra uno de los fotogramas.



Figura 6.20 Imagen rotura noray. Fuente: NRFF

Las conclusiones obtenidas pueden consultarse en detalle en una de las actas de las varias reuniones mantenidas para analizar las causas del incidente (Anexo 6.5). En resumen, se concluyó que fueron éstas muy similares a las del caso anterior:

- La suma de resistencias de las amarras superaba la carga de rotura del noray
- La tripulación no mantuvo una vigilancia adecuada de los cabos de amarre al no lascar lo que éstos pedían como consecuencia de la variación de calados debida a las operaciones de deslastre.

Los incidentes mencionados obligaron a la dirección de *NRFF* a tomar conciencia de la importancia de las disposiciones de amarre e impulsaron una serie de acciones encaminadas a mejorar la seguridad en las mismas, entre las que cabe citar:

- a. Disposición del amarre: Con el fin de mejorar la coordinación con el capitán y tripulación del buque en la operación de atraque, se elabora previamente en nuestra oficina técnica una propuesta de disposición de amarre.
- b. Esta distribución de amarras es revisada por la dirección del Departamento de Producción antes de su envío al capitán con el fin de asegurar la implementación de las lecciones aprendidas en los incidentes anteriores.
- c. Método de amarre: por motivos de mejora de seguridad así como de deterioro de imagen, deja de utilizarse la forma tradicional de amarre consistente en recoger un cabo guía procedente del barco y hacerlo firme a un vehículo (tipo *pick-up*) que arrastra la amarra hasta el punto donde se quiere encapillar. En su lugar, las estachas del buque se llevan hasta la vertical del noray a encapillar con la ayuda de las grúas del muelle
- d. Análisis de cargas: Se comienza a desarrollar el programa de cálculo del que trata el capítulo 5 con el fin de conocer las cargas a las que estarán sometidos los elementos de amarre.
- e. Se realiza una prueba de rotura de uno de los norayes situados en los cantiles de los muelles de Ferrol con el objeto de conocer su resistencia, ya que la misma no se encuentra claramente identificada en la documentación existente.
- f. Se desarrolla una instrucción de trabajo y un protocolo para el seguimiento de las operaciones de lastre/deslastre de los buques, consistente en una lista de comprobaciones a realizar durante las mismas, con el fin de asegurar la vigilancia de las amarras por parte del Astillero, al mismo tiempo que se establecen métodos de contacto con el buque en caso de detección de anomalías en los sistema de amarre.

6.3.1.1 *Amarre de largos y springs*

La figura 6.21 muestra la disposición de un noray montado sobre el cantil del muelle, afirmado a través de tres pilotes de 14 metros de profundidad, que le confieren una gran fiabilidad.

Este tipo de noray es el estándar utilizado en los muelles de Ferrol y muy similar a los instalados en el centro de Fene, que conforma el sistema básico de sustentación de *springs* y largos, ya que poseen la gran ventaja de encontrarse situados hacia el exterior del camino de rodamiento de las grúas, permitiendo el trabajo de éstas sin interferencia con los cabos.

Debido a su reducida carga de trabajo (125 tons), no permite encapillar más de una amarra tirando en un mismo sentido, ya que, como veremos seguidamente, el *MBL* de una estacha de un buque de transporte de gas licuado moderno supera las 100 toneladas.

Para casos muy especiales, donde sea imprescindible encapillar dos amarras a este tipo de norayes, se ha diseñado un enlace débil (“*weak point*”) para evitar su rotura, consistente en una eslinga doble de alma de prolipropileno, con dos ramales y una carga de rotura conocida (116 tons) configurando una disposición como la mostrada en la figura 6.22.

La rotura del ramal corto protegerá el noray quedando las dos amarras sujetas por el tramo de mayor longitud. En el Anexo 6.11, puede consultarse su certificado de fabricación.

Los norayes de 125 toneladas dispuestos sobre el cantil del muelle se encuentran separados, por término medio, 35 metros (esta distancia difiere ligeramente de unos muelles a otros), lo que permite una buena versatilidad a la hora de disponer los largos y *springs* del buque.

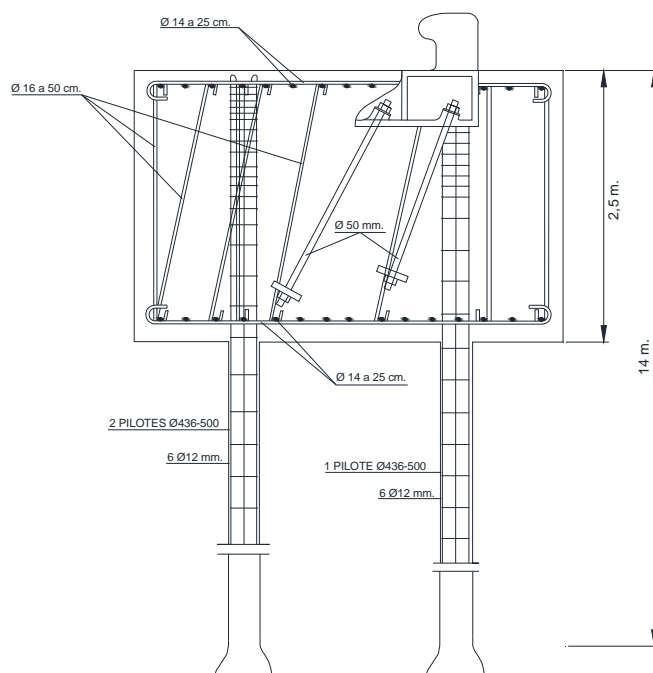


Figura 6.21 Disposición de noray de 125 tons montado sobre el cantil del muelle. Fuente: NRFF



Figura 6.22 Imagen del enlace débil de protección de los norayes de 125 tons. Fuente: NRFF

Con el fin de determinar la longitud y número de *springs*/largos que, en circunstancias de alerta por viento, será necesario hacer firmes, consideraremos el buque tomado hasta ahora como referencia (LNG

BAYELSA) expuesto a vientos de 130 km/h en sentido proa-popa y viceversa y seguiremos, para su cálculo, un esquema como el que muestra la figura 6.23.

Comenzaremos estableciendo un valor para el *MBL* de las amarras. El buque LNG *BAYELSA* utiliza alambres de acero de 42 mm de diámetro y 126 toneladas de carga de rotura mínima¹⁰⁵. En el Anexo 6.6 se muestran dos certificados de las líneas de amarre de otros tantos buques similares a éste (LNG *British Trader* y LNG *Madrid Spirit*) cuyos valores varían desde 110 a 127 tons, aun cuando el segundo de ellos utiliza estachas de fibra HMPE de última generación, lo que nos da idea de que el dato tomado es característico de este tipo y tamaño de buques.

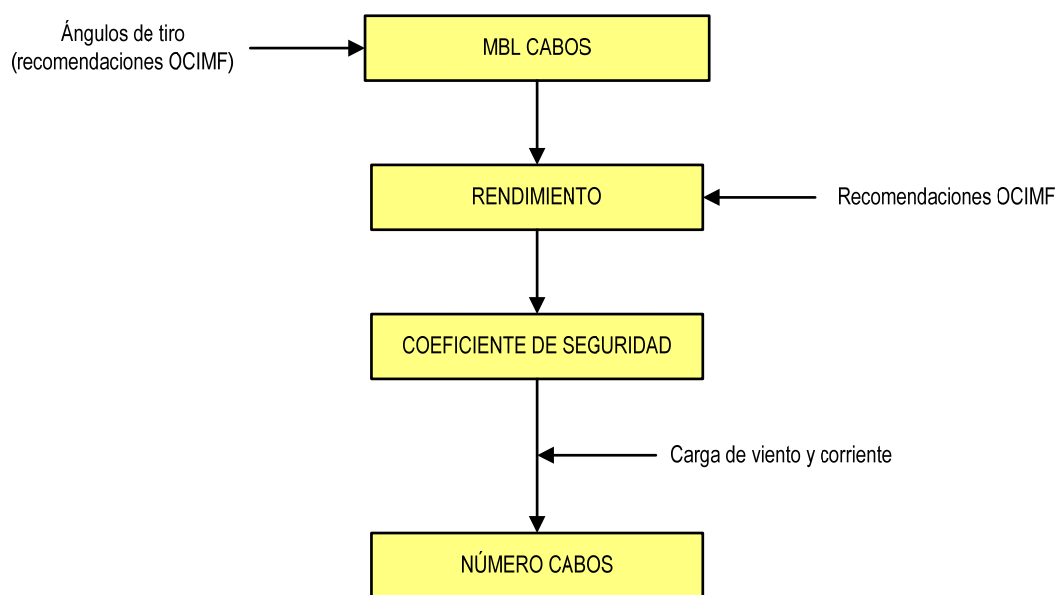


Figura 6.23 Esquema para el cálculo de número de springs/largos. Fuente: Autor

De acuerdo con las recomendaciones de la *OCIMF* (*OCIMF*, 2008, p. 16), el ángulo de las amarras, medido en el plano vertical, no debe de superar los 25°. Partiendo de esta premisa, trataremos de establecer la longitud mínima de un largo/spring para el caso de nuestro buque de referencia.

¹⁰⁵ En el extremo de cada alambre monta un calabrote de poliéster de 11 metros de largo, 85 mm de diámetro, con una carga de rotura de 223 tons para proporcionar elasticidad al sistema. Para la conexión cabo de alambre-calabrote, se emplea un grillete Tonsberg, Mandal o Boss.

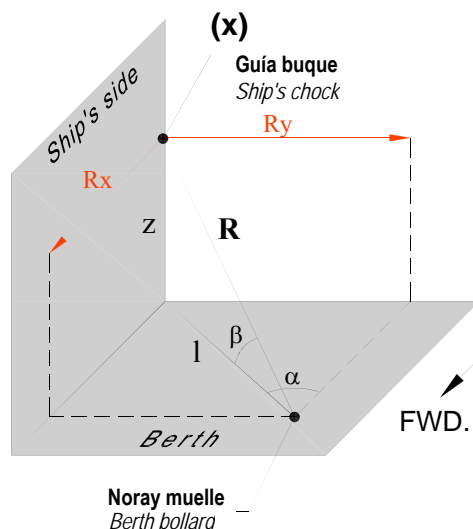


Figura 6.24 Descomposición de fuerzas. Fuente: NRFF

Para ello, hemos de conocer la altura Z , entre la guía del buque y el noray del muelle, representada en la figura 6.24, para lo que emplearemos la misma expresión (5.25) utilizada en el capítulo anterior para el cálculo de la resistencia de las amarras.

$$Z = h - d - p + t \quad (5.25)$$

La longitud de la proyección horizontal de la amarra en función de dicha altura, vendrá definida por la relación (6.21)

$$l = \frac{Z}{\tan \beta} \quad (6.21)$$

La hoja de cálculo en Excel que se representa en la figura 6.25 resuelve estas dos ecuaciones para el caso planteado, obteniendo una distancia mínima de 34,3 metros, lo que significa que los largos y *springs* han de avanzar desde su guía, al menos, la distancia correspondiente a un noray, es decir, 35 metros.

h	d	p	t	Z	β	l
26,5	9,0	6,0	4,5	16,0	25	34,3

Figura 6.25 Cálculo de la longitud mínima de un spring/largo para buque LNG BAYELSA (disponible en Anexo 6.7). Fuente: Autor

Por el hecho de que las guías por las que laborean los cabos de *spring* se encuentran muy cerca del costado del buque en su manga máxima, el ángulo α viene determinado por la distancia entre el mismo y el muelle, que viene definida en el caso más desfavorable por el diámetro de las defensas sin comprimir (A), pudiendo calcularse por medio de la expresión (6.22).

$$\alpha = \arcsin \frac{A}{l} \quad (6.22)$$

Aplicando el resultado obtenido anteriormente para l , podemos proceder al cálculo de α , de acuerdo a la figura 6.26.

l	A	α
34,3	2,5	4,2

Figura 6.26 Cálculo del ángulo α para un spring/largo en buque LNG BAYELSA (disponible en **Anexo 6.7**). Fuente: Autor

Una vez conocidos los valores característicos de α y β , podemos averiguar la capacidad de resistencia longitudinal de la amarra (R_x) en función de su MBL, de acuerdo con la expresión (6.23).

$$R_x = (MBL) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta = (MBL) \cdot \eta_x \quad (6.23)$$

Donde η_x representa el rendimiento de la amarra en función de los ángulos que la definen.

$$\eta_x = \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (6.24)$$

Sustituyendo los valores de α y β , así como la carga de rotura mínima, obtendremos los valores numéricos indicados en la tabla de la figura 6.27.

α	β	η_x	MBL	R_x
4,2	25,0	90,39%	126,0	113,9

Figura 6.27 Cálculo del rendimiento y la resistencia longitudinal para un spring/largo en buque LNG BAYELSA (disponible en **Anexo 6.7**). Fuente: Autor

Volviendo al esquema de la figura 6.23, tendremos que aplicar el coeficiente de seguridad C_a a la carga obtenida, el cual tomará los valores indicados en la figura 6.28 en función del material de fabricación de los cabos (OCIMF, 2008, p. 26).

Las estachas de poliamida, por su alta elasticidad, generan importantes problemas a la hora de compatibilizar el amarre con las terminales de carga debido a las restricciones que presenta el brazo de carga con respecto al posible movimiento longitudinal del buque. Por esta razón, en este tipo de buques se montan, o bien amarras de acero, o bien sintéticas de última generación con una elasticidad similar a éste (fibras HMPE). Con el fin de posicionarnos en el caso más desfavorable, consideraremos que C_a toma el valor definido para estas últimas, es decir, **50 %**.

MATERIAL	C_a
ALAMBRE DE ACERO	55%
FIBRAS SINTÉTICAS HMPE	50%
FIBRAS SINTÉTICAS CONVENCIONALES	45%

Figura 6.28 Valores de C_a en función del material de fabricación de los cabos. Fuente: OCIMF, 2008, p. 26

Estimamos que es importante recordar que, al objeto de evitar la rotura de los cabos de amarre, los frenos de las maquinillas han de estar ajustados para comenzar a zafar cuando la tensión de la amarra alcance el 60% del MBL.

El número de amarras longitudinales N_L necesario para soportar las condiciones de viento y corriente descritas vendrá dado por la ecuación (6.25)

$$N_L = \frac{F_x}{R_x \cdot C_a} \quad (6.25)$$

Donde F_x es la fuerza longitudinal generada por la suma de la acción del viento a 130 km/h y la corriente aplicando los valores recomendados por la OCIMF, que puede calcularse utilizando el libro de Excel desarrollado para tal fin, sobre el que trata el capítulo 5. El valor obtenido para el buque (véanse Anexos 5.1 y 5.2) es de 159 tons, coincidente en ambos sentidos (proa-popa y viceversa)¹⁰⁶. Sustituyendo el mismo en la fórmula (6.25), concluiremos que el número mínimo de amarras longitudinales en cada uno de los sentidos (bien sean largos o *springs*) ha de ser igual a tres, al redondear el resultado obtenido que refleja la figura 6.29.

R_x	C_a	F_x	N_L
113,9	50%	159,0	2,8

Figura 6.29 Cálculo del número de amarras longitudinales (disponible en **Anexo 6.7**). Fuente: Autor

6.3.1.2 Amarre de traveses

A diferencia de los amarres de largos y *springs*, el posicionamiento de los traveses no contempla tantas posibilidades como estos. La disposición tradicional de los muelles tiene prevista muy pocas amarras transversales, por lo que la mayoría de los norayes de través son de muy reciente instalación¹⁰⁷ debido a la inclusión de los mismos en un programa de inversiones plurianual.

Por otro lado, las amarras de través interrumpen el paso de las grúas de los muelles aunque, debido a la disposición de los mismos en la proa y popa del buque, permiten su libre circulación entre ellos.

Varios cálculos preliminares realizados a través de la simulación del amarre de buques LNG llevaron a establecer los siguientes criterios:

- **Carga de trabajo:** Se define un noray de 300 toneladas de carga de trabajo, que es capaz de albergar sin dificultad hasta 4 amarras del buque que se fija a su base con 10 pernos de acero de M56 y un metro de longitud. Su disponibilidad y coste en el mercado lo hacen también atractivo. La figura 6.30 muestra un dibujo esquemático del mismo.

¹⁰⁶ El cálculo de la suma de las fuerzas ejercidas por el viento y la corriente disponible en el Anexo 5.1 contempla un calado medio de 7,5 metros. El valor de esta resultante será inferior incrementando el calado a 9 metros. Sin embargo, con el fin de posicionarnos del lado de la seguridad, consideraremos la fuerza de mayor magnitud (159 tons).

¹⁰⁷ El primero de ellos fue instalado en el invierno del 2009 en el muelle 14 de Ferrol.

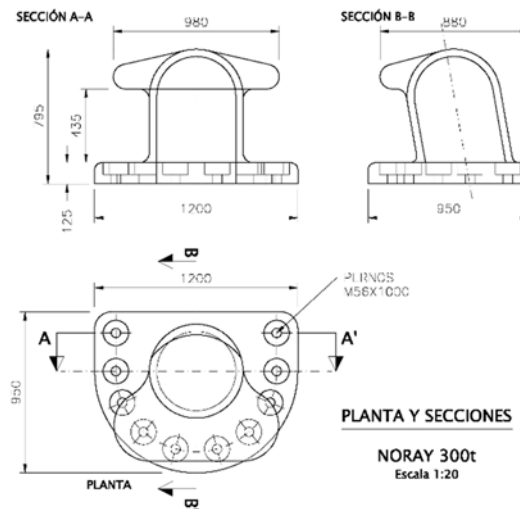


Figura 6.30 Dibujo esquemático de noray de 300 tons. Fuente: Trelleborg (Suministrador)

- **Distancia al cantil del muelle:** El posicionamiento de los puntos de amarre requiere un análisis en el que han de tenerse en cuenta tanto los criterios de amarre como la interferencia con las vías de paso y, en general, con los medios de producción, que difieren de unos muelles a otros y, por lo tanto, obliga al estudio particular de cada uno de ellos. La tabla de la figura 6.31 indica las distancias desde los norayes de través al cantil de varios muelles, tanto de Ferrol como de Fene. La distancia media se sitúa en el orden de 28,5 m, a la que se ha añadido el diámetro de las defensas (2,5 m), así como la distancia transversal desde la guía de la amarra hasta el costado paralelo del buque, que varía dependiendo de la posición longitudinal de la amarra, siguiendo la figura de los finos de proa y popa. Una posición conservadora nos lleva a considerar la distancia total igual a la longitud mínima indicada por la OCIMF (véase la figura 6.25), cifrada para el buque en 34,3 metros, y que viene determinada por un ángulo máximo vertical β igual a 25° .

MUELLE	DIST. TRAVÉS
NÚMERO 9 FERROL	34 m.
NÚMERO 14 FERROL	30 m.
NÚMERO 12 FENE	23,5 m.
NÚMERO 11 FENE	25 - 28 m.

Figura 6.31 Distancia desde el cantil del muelle de varios muelles de NRFF a los norayes de través. Fuente: Autor

- **Posicionamiento longitudinal:** Los nuevos norayes se han dispuesto para que su tiro sea lo más perpendicular posible a la línea de crujía, alineándolos con las guías de proa y popa para el tipo y tamaño de buques que estamos considerando. En la medida de lo posible, se encuentran ligeramente desplazados hacia el centro del buque con el fin de compatibilizar también el amarre de través de buques de menor eslora.

El análisis de los elementos necesarios para la sujeción de los traveses del buque sigue el mismo esquema utilizado para largos y *springs*, indicado en la figura 6.23. El establecimiento de un ángulo medio (α)

que represente la disposición típica de un través no es una tarea sencilla ya que varía en gran medida tanto en función del muelle en donde se atraque como del tamaño y configuración de amarre del buque que se considere. Sin embargo, en líneas generales, dicho ángulo varía entre 69° y 85° , por lo que podemos considerar α (véase figura 6.24) igual a 75° para el cálculo del rendimiento buscado. Recordemos que en este capítulo tratamos de definir los elementos de amarre básicos, que han de ser comprobados con el estudio individualizado de cada buque de acuerdo con lo descrito en el capítulo 5. La resistencia transversal de la amarra, en función de sus ángulos y de la carga de rotura mínima, vendrá definida por la expresión (6.26).

$$R_y = (MBL) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = (MBL) \cdot \eta_y \quad (6.26)$$

Donde el rendimiento η_y tendrá el valor obtenido de la relación (6.27).

$$\eta_y = \sin \alpha \cdot \cos \beta \quad (6.27)$$

Una vez conocidos los datos necesarios, el cálculo de la resistencia transversal de la amarra se indica en la figura 6.32.

α	β	η_y	MBL	R_y
75,0	25,0	87,54%	126,0	110,3

Figura 6.32 Cálculo del rendimiento y la resistencia longitudinal para un través en el buque LNG BAYELSA (disponible en **Anexo 6.7**). Fuente: Autor

El número de amarras transversales N_T necesario para soportar las condiciones de viento y corriente descritas en el capítulo 4, vendrá dado por la ecuación (6.28),

$$N_T = \frac{F_y}{R_y \times C_a} \quad (6.28)$$

Donde:

- N_T es el número de amarras transversales en cada uno de los extremos del buque.
- F_y es la fuerza transversal máxima generada por el viento y la corriente en la perpendicular de popa del buque¹⁰⁸, al considerar que éste pueda atracarse indiferentemente babor o estribor al muelle. En el Anexo 5.2 (Informe final del cálculo) se cuantifica esta magnitud en 453 tons.
- C_a es el coeficiente de seguridad indicado por OCIMF en función del material de fabricación de las amarras, de acuerdo a la figura 6.28.

Una vez cuantificados estos valores, podemos proceder al cálculo de N_T indicado en la figura 6.33.

R_y	C_a	F_y	N_T
110	50%	453	8

Figura 6.33 Cálculo del número de amarras transversales (disponible en **Anexo 6.7**). Fuente: Autor

¹⁰⁸ La fuerza transversal generada por el viento y la corriente en la popa del buque es mayor que en proa debido a que porcentualmente es mayor la superficie de obra muerta concentrada en dicha zona por la ubicación en la misma de la habilitación.

El resultado mostrado refleja que serán necesarias 8 amarras de través en cada uno de los extremos del buque, para lo que necesitaremos, al menos, **dos norayes** del tipo considerado, en cuyo caso supondrá que estarán sometidos a un tiro de 227 tons cada uno; un valor sensiblemente inferior a su carga nominal.

- **Anclaje:** El anclaje de nuevos norayes representa un problema de especial consideración en las instalaciones de *NRFF*, ya que los muelles donde se amarran este tipo de barcos ocupan espacios ganados al mar y rellenos con áridos que conforman una sustentación muy deficiente. Se han planteado para su instalación dos posibilidades distintas:
 1. Sujeción mediante pilotes. Para estudiar la viabilidad de esta posibilidad, se realizaron varios sondeos del terreno, estableciéndose una longitud de perforación mínima de 27 metros, (véase la figura 6.34). El presupuesto económico obtenido para esta disposición (disponible en el Anexo 6.8) hace que esta opción resulte prohibitiva.
 2. La segunda posibilidad contemplada se muestra en la figura 6.35 y consiste en una gran losa de hormigón armado con una estructura de cerca de 3 metros de profundidad cuyo propio peso es capaz de soportar los tiros inducidos por el noray. El Anexo 6.8 contiene los cálculos de resistencia al vuelco, deslizamiento y armadura, los cuales se estima que van más allá del objeto de esta investigación y, por tanto, no nos detendremos en los pormenores de los mismos. Esta disposición se entiende tan válida como la anterior desde el punto de vista técnico y, además, supone una importante ventaja económica que le conducen a ser la adoptada finalmente.

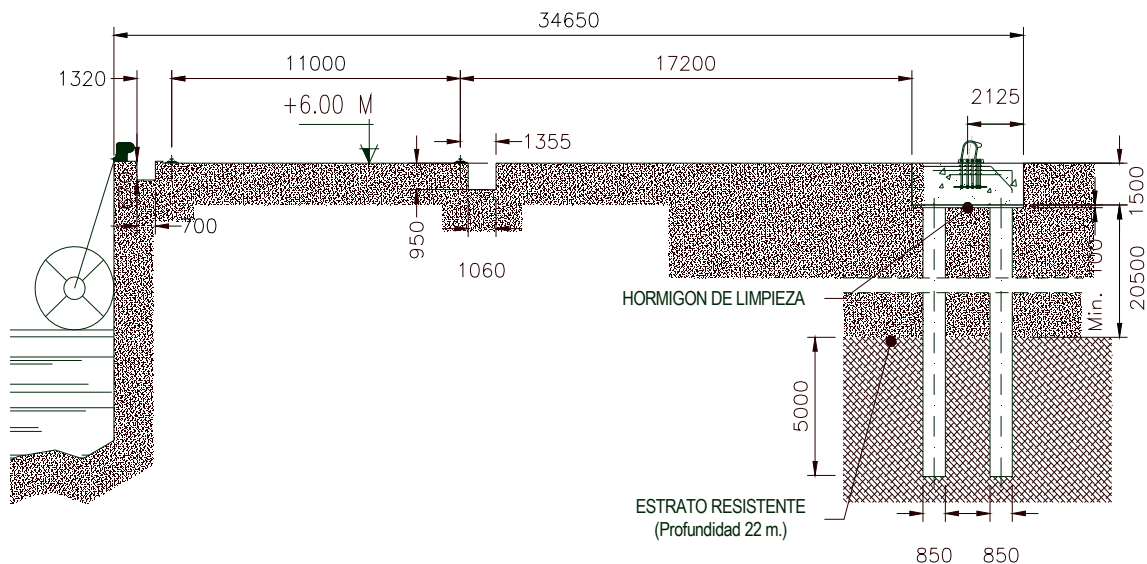


Figura 6.34 Noray asentado sobre pilotes (disponible en Anexo 6.8). Fuente: NRFF

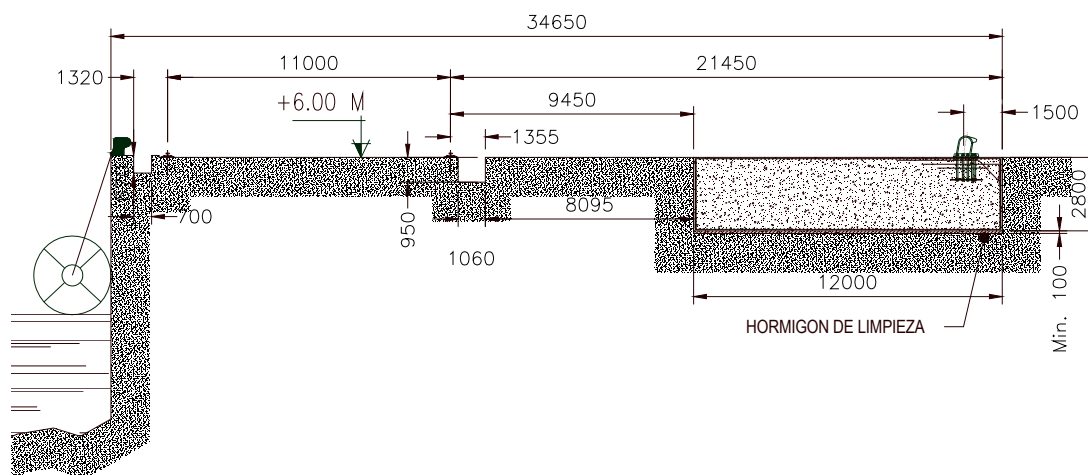


Figura 6.35 Noray asentado sobre losa de hormigón (disponible en Anexo 6.8). Fuente: NRFF

6.3.1.3 Norayes móviles

Debido a los incidentes comentados en la sección 6.2.1, se tuvieron que improvisar dos norayes móviles como medida de emergencia con el fin de mantener operativos los muelles afectados.

Con este objetivo, se aprovecharon dos grandes bastidores fabricados para la prueba de carga de grúas de gran capacidad a los que se adaptaron dos orejetas para afirmar sendos grilletes que permiten encapillar la estacha del buque.

Preparado de esta forma el bastidor se carga con bloques de hormigón hasta superar las 200 toneladas de peso con la ayuda de las grúas del muelle. Bajo el mismo se dispone una plancha de goma de 10 mm de espesor para incrementar el coeficiente de rozamiento entre el acero del que está construido y la base de apoyo (hormigón o asfalto).



Figura 6.36 Imagen del bastidor situado en el muelle 14 de Ferrol con una estacha de través del buque LNG Madrid Spirit. Fuente: Archivo NRFF

La fuerza necesaria para desplazar el bastidor cargado con los bloques de hormigón (F_r) viene definida por su peso total (P) y el menor de los coeficientes de rozamiento estáticos (μ_E) correspondientes a las superficies acero – goma y hormigón o asfalto – goma, de acuerdo a la relación (6.29).

$$F_r = \mu_E \cdot P \quad (6.29)$$

MATERIALES	μ_E
GOMA - ASFALTO	0,8
GOMA - HORMIGÓN	1
ACERO - GOMA	0,75

Figura 6.37 Coeficientes de rozamiento estático. Fuente: <http://hypertextbook.com/facts/2006/MatthewMichaels.shtml>

Para la obtención del valor de este coeficiente se han consultado diversas fuentes que ofrecen valores experimentales, los cuales no son coincidentes en muchos casos. Los datos indicados en las tablas de coeficientes de rozamiento en función de los materiales de contacto están referenciados a superficies limpias, libres de óxido y secas. Sin embargo, sus resultados son solamente orientativos ya que la fuerza de rozamiento depende también en gran medida de la rugosidad de las superficies de contacto y de la temperatura. En el caso particular de la goma, la dureza tiene una influencia primordial, disminuyendo el coeficiente con el incremento de esta. Consideraremos, sin embargo, que los valores reseñados en la tabla 6.36 son lo suficientemente conservadores como para ser aplicados.

Debido al hecho de que el menor de los coeficientes corresponde al contacto acero - goma, nuestro bastidor cargado podrá resistir un tiro igual al 75% de su peso, es decir, 150 toneladas, que será suficiente para amarrar con seguridad una de las estachas del tipo de buques considerado.

Estos bastidores se hayan disponibles para ser utilizados en caso de alerta o cualquier incidente de los puntos de amarre.

6.3.2 LÍNEAS DE REFUERZO

En el caso de que nuestro buque se halle expuesto a vientos de 130 km/h y se desconozca la dirección de su procedencia, de acuerdo con las conclusiones obtenidas en los capítulos anteriores, se habrá de montar la cantidad de amarras reflejada en la tabla de la figura 6.38.

TIPO DE AMARRA	NÚMERO
LARGO / SPRING PROA	3
LARGO / SPRING POPA	3
TRAVÉS PROA	8
TRAVÉS POPA	8
TOTAL	22

Figura 6.38 Número de amarras necesario. Fuente: Autor

El número de amarras de las que disponen los buques en la actualidad se encuentra determinado fundamentalmente por los requerimientos derivados de los estudios de compatibilidad con las terminales de carga/descarga y, en consecuencia, por la exposición a los agentes atmosféricos propios de cada localización particular. La apertura de un gran número de nuevas terminales, derivada de la gran expansión que ha sufrido este mercado en los últimos años, ha propiciado que los buques de construcción moderna lleguen a tener hasta 24 líneas de amarre.

Sin embargo, aquellos barcos de cierta edad que mantienen rutas entre terminales antiguas conservan en muchos casos su configuración original, lo que originará que el número de líneas disponible no sea suficiente para cubrir los 22 puntos de amarre requeridos¹⁰⁹.

Aun teniendo en cuenta que en condiciones normales el barco posee líneas de respeto que pueden ser utilizadas como refuerzo, de las conclusiones anteriores se deriva la necesidad de aprovisionar líneas propias para completar la disposición de amarre necesaria ante una alerta roja. Para su adecuada definición, hemos de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Material de fabricación: En la medida de lo posible, las amarras del Astillero tendrán una elasticidad similar a las del buque para que puedan ser compatibles entre sí. Aunque desde el punto de vista económico supone la decisión menos ventajosa, por el hecho de que las líneas de los gaseros estén fabricadas, o bien de alambres de acero o bien de materiales sintéticos, una estacha de fibra sintética de última generación *HMPE* como *dyneema* (véase capítulo 2) cumplirá a la perfección con la compatibilidad requerida.
- Número de líneas: Debido a la amplia casuística que se afronta en función del número de buques y del riesgo característico de los muelles que se estén utilizando en un momento concreto, no parece sencilla la definición de la cantidad necesaria cuando se trata de aportar un criterio con carácter general. Sin embargo, este número se encuentra también influenciado por los trabajos propios de reparación, ante la posibilidad de que el Armador solicite rehacer las gazas de sus amarras, bien por deterioro de las mismas o porque tiene intención de prolongar su vida útil chicoteando sus extremos, aspecto este que trataremos con mayor detalle en el capítulo 8. (En estos casos, todas las amarras del buque han de ser retiradas y sustituidas por amarras del Astillero para su envío a un taller especializado en el montaje de casquillos de terminación, lo que significa que necesitaremos en torno a 16 amarras para realizar este trabajo en condiciones normales).
- Resistencia: El proceso para la definición del tipo de amarra de refuerzo ha de buscar un equilibrio entre los factores siguientes:

¹⁰⁹ A modo de ejemplo, la disposición de amarre del LNG *GALEA* consta de 19 líneas de acero por su costado de babor.

- a. Resistencia mínima: La cual habrá de igualar o incluso superar a la de las amarras utilizadas por los buques objeto de nuestro estudio, cifrada en la sección 6.2.1.1 en valores de 110 a 130 tons.
- b. Manejabilidad: El peso por metro ha de ser bajo para facilitar las operaciones de amarre y desamarre.
- c. Economía: Debido al gran número de unidades a adquirir y aunque su compra se realizará gradualmente, el importe total es considerable, con lo que este aspecto es relevante.

La decisión final fue acordada con la participación del Departamento de Marineros y el de Aprovisionamientos de *NRFF* y condujo a la adquisición del modelo *DYNAFORT* de 12 cordones de 52 milímetros de diámetro, lo que supone un peso de 1,5 kilogramos por metro¹¹⁰ y una carga de rotura mínima de 207 tons, montando una gaza en cada uno de sus extremos. En el Anexo 6.10 puede consultarse el certificado correspondiente a dos de las unidades adquiridas.

- Longitud: Para proceder a su cálculo, la dividiremos en dos partes:
 - a. *Exterior al buque*, desde la guía hasta el noray (L_E), que estará determinada por los ángulos α y β , formados con la línea de crujía y el plano horizontal, respectivamente, así como por la distancia de las defensas sin comprimir (A), de acuerdo a la expresión (6.30).

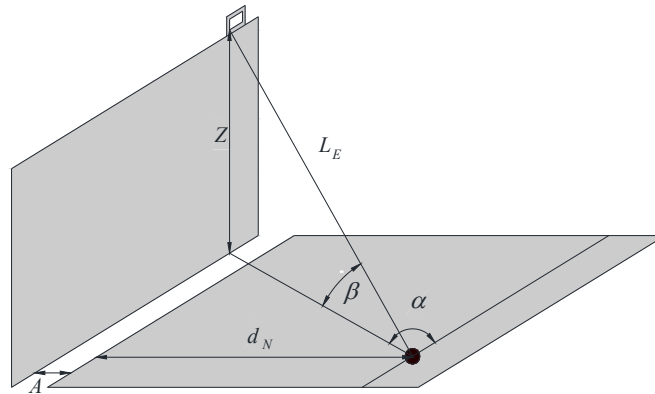


Figura 6.39 Esquemático para el cálculo de L_E . Fuente: Autor

$$L_E = \frac{A + d_N}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \quad (6.30)$$

Donde d_N representa la distancia desde el noray más alejado del muelle al cantil del mismo, que tal como refleja la figura 6.31, es equivalente a 34 metros. La figura 6.40 resuelve numéricamente la ecuación anterior.

¹¹⁰ La relación carga/peso de este modelo es de las mayores del mercado. Posee, además, una gran flexibilidad y reducidos efectos de “latigazo” en su rotura.

α	β	A	d_N	L_E
75	25	2,5	34	42

Figura 6.40 Cálculo de la longitud de amarra exterior al buque (disponible en **Anexo 6.9**). Fuente: Autor

- b. *En el interior del buque*, desde la guía de costado al punto de fijación a bordo (bita o maquinilla de amarre). Teniendo en cuenta que tal elemento pudiera encontrarse en el costado opuesto al muelle y dejando la cantidad de amarra suficiente como para hacer firme a la bita o montarla en el carretel de la maquinilla, consideraremos la longitud necesaria igual a una vez y media la manga del buque (B).

$$L_T = L_E + L_I = L_E + 1,5 \cdot B \quad (6.31)$$

La figura 6.41 resuelve la ecuación anterior para el buque LNG *BAYELSA*, estableciendo la longitud total necesaria en 114 metros.

B	L_E	L_T
48	42	114

Figura 6.41 Cálculo de la longitud total de las amarras de refuerzo (disponible en **Anexo 6.9**). Fuente: Autor

- **Posición:** Los frenos de las maquinillas del buque tienen una función primordial para que las líneas de amarre trabajen adecuadamente ante condiciones extremas, ya que realizan un reparto homogéneo de cargas al ir lascando aquellas sometidas a mayor tensión. Por este motivo es importante que, en la medida de lo posible, se extienda el máximo número de las amarras con esta disposición.

El buque dispone de elementos fijos para acomodar líneas adicionales que han de soportar al menos el 50% de la capacidad de amarre en condiciones estándar (*OCIMF*, 2008, p. 69), los cuales estudiaremos en profundidad en el capítulo 8.

En cualquier caso, y como norma general, se emplearán prioritariamente las líneas con capacidad para ser operadas desde a bordo o que trabajen sobre los frenos, distribuyendo las amarras de refuerzo de acuerdo a las dos posibilidades siguientes:

6. Repartir homogéneamente las mismas entre todos los sistemas (longitudinales en proa y popa y traveses en proa y popa).
7. Montarlas en aquellos sentidos en los que no se prevé la acción de los agentes meteorológicos (opción preferente).

En aquellos sistemas en los que coexistan amarras propias del buque con las de refuerzo, éstas deberán de afirmarse con menor tensión que las primeras en previsión del lascado originado cuando se alcance el 60% de su tensión máxima, originando el correspondiente reparto de fuerzas.

6.4 EXPOSICIÓN AL RIESGO DE LOS MUELLES DE NRFF

La Gestión de Riesgos consiste en identificar y valorar los mismos con la suficiente antelación para proponer y facilitar la toma de decisiones así como para aprobar y ejecutar las acciones o planes más adecuados con el fin de eliminar o disminuir su criticidad hasta niveles tolerables.

Tanto la norma ISO 31000 como las “Recomendaciones para la elaboración de los Planes de Gestión de Riesgos” de la Asociación Española para la Calidad, establecen guías y técnicas de evaluación que facilitan la confección de los mismos y definen, asimismo, los siguientes conceptos fundamentales:

Riesgo: Condición o evento incierto que, de ocurrir, afectará negativamente a la consecución de los objetivos de la empresa. Se mide en términos de la probabilidad de que ocurra un evento no previsto y sus consecuencias o impactos.

- **Probabilidad:** Medida, en porcentaje, de la posibilidad de que un riesgo ocurra.
- **Impacto o consecuencias:** Efectos estimados que pueden ocurrir si un riesgo se materializa.
- **Valoración de riesgos:** Proceso de evaluación del índice de criticidad de un riesgo mediante la determinación de la probabilidad estimada de que ocurra y su impacto en los objetivos de la empresa.
- **Índice de Criticidad (IC):** Resultado numérico que se obtiene de la valoración de los riesgos, tras aplicar la métrica de valoración que se defina y que da una idea cuantitativa de la medida del nivel de riesgo (véase un ejemplo en la tabla de la figura 6.42).

ÍNDICES DE CRITICIDAD			IMPACTO / CONSECUENCIA				
			Insignificante	Menor	Moderado	Importante	Grave
PROBABILIDAD	Muy Probable	70%	5	10	20	40	80
	Probable	50%	4	8	16	32	64
	Ocasional	20%	3	6	12	24	48
	Improbable	5%	2	4	8	16	32
	Muy Improbable	0%	1	2	4	8	16

ACCIÓN MIXTA

Nivel de Riesgo BAJO: $0 < IC \leq 4$

Nivel de Riesgo MEDIO: $5 \leq IC \leq 32$

Nivel de Riesgo ALTO: $33 \leq IC \leq 80$

ACCIÓN MITIGADORA

ACCIÓN CONTINGENCIA

Figura 6.42 Tabla de Índices de Criticidad. Fuente: NRFF

- **Mitigación:** Acciones destinadas a disminuir o eliminar la probabilidad de que un riesgo ocurra.
- **Contingencia:** Acciones destinadas a minimizar el posible impacto de un riesgo.
- **Acciones Mixtas:** Aquellas que, simultáneamente, causan una reducción en el impacto y probabilidad de ocurrencia de un riesgo.

- **Índice de Criticidad Objetivo (ICO):** Objetivo numérico que fija el Panel de Riesgos para la aceptación de un determinado riesgo. Las acciones de mitigación/contingencia deben ir orientadas a la consecución de este objetivo, que es revisable en el tiempo. Una vez determinado el IC actual, convendrá establecer un valor de ICO para cada uno de los diferentes riesgos que deban ser mitigados, que permita así estimar o medir la evolución de los riesgos en base a la eficacia de las acciones que se establezcan.

En el caso concreto de nuestro estudio, de acuerdo a los registros históricos señalados en el capítulo 4 (véase figura 4.24), la probabilidad de ocurrencia de un episodio, $P(x)$, con vientos muy fuertes durante la estancia de un buque en reparación, cuya media es del orden de 20 días, será la indicada en la fórmula (6.32).

$$P(x) = \frac{1,2 \text{ episodios}}{365 \text{ días}} \cdot 20 \text{ días} \cdot 100 = 6,6\% \quad (6.32)$$

Esta probabilidad nos sitúa en la zona de ocurrencia “*Improbable*” (5%-20%). El conjunto de actuaciones que tengan por objeto el incremento de resistencia del sistema de amarre, alejando su punto crítico de la intensidad de viento anunciada por la alerta, conformarán nuestra acción mitigadora ya que reducirán la probabilidad de que su rotura se materialice.

Por otro lado, el hecho de que un buque pueda romper sus amarras debido a la acción del viento tiene, sin duda, consecuencias “*graves*” tanto desde el punto de vista de seguridad, como económico o de repercusión en los medios de comunicación.

La intersección de estas dos magnitudes nos sitúa en un índice de criticidad de 32, dentro de un nivel de riesgo “*medio*” y nuestro objetivo (ICO) será movernos hacia la zona verde de la tabla con un nivel de riesgo “*bajo*”, definido con un índice de valor 4. Para conseguir tal fin, se han definido una serie de medidas, tanto mitigadoras como de contingencia, que podemos agrupar en dos bloques:

1. **Medidas de carácter general**, que serán tratadas en capítulos posteriores y entre las que cabe citar:
 - Mejora en la comunicación de las alertas climatológicas con el fin de conseguir el margen de tiempo adecuado para estudiar los amarres de los buques y disponer, de acuerdo con los resultados, los norayes móviles o líneas de refuerzo necesarias.
 - Elaboración de un protocolo de actuación en caso de emergencia para facilitar la toma de decisiones
 - Otras medidas de carácter especial, tales como un estudio para recuperar el suministro eléctrico en caso necesario o alguna disposición de amarre de emergencia en casos extremos.
2. **Medidas particulares**, asociadas a cada uno de los muelles, que trataremos a continuación.

Debido al hecho de que tanto la orientación como el uso de cada uno de los muelles es diferente, así lo serán también sus riesgos asociados, por lo que se hace necesaria una evaluación individual de los puntos de amarre disponibles con el fin de definir un plan de acción con prioridades de actuación. Para ello, no nos servirá de herramienta la tabla la figura 6.42, ya que tendremos que ponderar y conjuntar **tres** parámetros distintos, tales como la frecuencia de uso de cada muelle, su exposición al riesgo por fuertes vientos y los medios de amarre disponibles en la actualidad.

a. Frecuencia de uso de cada muelle

Existen diferentes razones por las que ciertos muelles se utilizan con mayor asiduidad que otros, entre las que cabe citar su proximidad a los talleres de reparación, capacidad de elevación y número de grúas, calado o potencia disponible para el suministro de energía eléctrica, tanto en 60 Hz (destinada al buque) como en 50 Hz (para medios de producción).

Es evidente que el incremento de frecuencia de utilización induce una mayor exposición al riesgo. Para la cuantificación de la misma se ha realizado una división de acuerdo a la tabla de la figura 6.43, asignando un índice (i_f) que incrementa su valor de forma exponencial en función del uso.

FRECUENCIA DE USO	i_f
FRECUENTE	100
MEDIA	30
OCASIONAL	10

Figura 6.43 Valoración según la frecuencia de uso. Fuente: Autor

b. Exposición al riesgo por rotura de amarras

Se hace, también, necesario cuantificar la exposición al riesgo en cada uno de los muelles en función de su orientación. Para ello, hemos de combinar ésta con el sector de procedencia de vientos fuertes definido en el capítulo 4 (figura 4.9), obteniendo un valor numérico representativo de la confluencia de ambos.

A modo de ejemplo, el muelle 14 de Ferrol tiene una orientación de 026° y su exposición al riesgo de que se produzcan vientos fuertes que tiendan a separar el buque del mismo, i_r , de acuerdo con la figura 6.43, será equivalente al sector naranja interior, delimitado entre 320° y la popa del buque. La expresión (6.33) muestra su valor en términos de porcentaje.

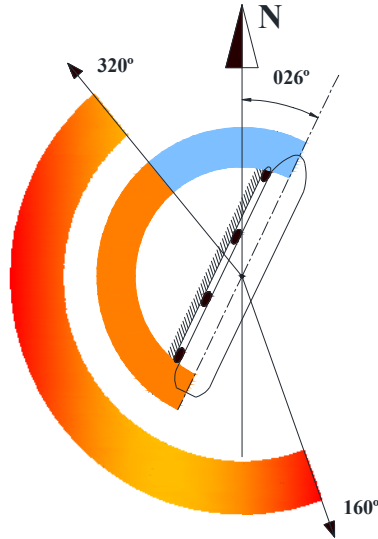


Figura 6.44 Exposición del muelle 14 a vientos fuertes. Fuente: Autor

$$i_r = \frac{320^\circ - (180^\circ + 26^\circ)}{180^\circ} \cdot 100 = 63,3\% \quad (6.33)$$

c. Medios actuales de amarre

El amarre de largos y *springs*, tal y como se citó anteriormente, no representa un problema debido a la disposición de los norayes de 125 tons en el cantil de todos los muelles. Sin embargo, es destacable la escasez de norayes que sujeten los traveses, aunque ciertos muelles estén dotados de alguno. Los elementos existentes han de ser tenidos en cuenta a la hora de priorizar la disposición de los nuevos puntos de amarre.

Con tal fin, se asignará un valor equivalente a la resistencia de los norayes existentes (R_a) posicionados en las zonas de proa y popa, considerando el tamaño de buques estudiados, que dividiremos entre la resistencia transversal total (R_T) requerida¹¹¹. El índice (i_m) obtenido de acuerdo con la expresión (6.34) nos dará una idea del porcentaje actual de cumplimiento de cada uno de los muelles.

$$i_m = \frac{R_a}{R_T} \cdot 100 \quad (6.34)$$

d. Valoración global

La conjunción de los tres índices referidos nos aportará el índice de criticidad, es decir, la exposición global al riesgo de cada uno de los muelles (i_G), que vendrá determinada por el producto de los mismos, de acuerdo con la relación (6.35).

$$i_G = \frac{i_f \cdot i_r \cdot i_m}{10^3} \quad (6.35)$$

¹¹¹ La resistencia transversal total requerida (R_T) se ha calculado anteriormente como el conjunto de dos norayes de 300 tons en popa y otros dos en proa. Es decir, un total de 1200 tons.

	MUELLE	ORIENT.	i_f	i_r	i_m	i_G
FERROL	9	150°	100	0	27	0
	11	330°	10	89	10	8,9
	12	150°	10	0	10	0
	14	26°	100	63	40	252
FENE	10	64°	10	42	60	25,2
	11	122°	100	10	40	40
	12	302°	30	79	40	94,8

Figura 6.45 Cálculo de exposición global al riesgo. Fuente: Autor

Una vez confeccionada la tabla de la figura 6.45, indicando la orientación de cada uno de los muelles, así como sus correspondientes índices de frecuencia, exposición a vientos fuertes y medios actuales, el cálculo del índice global nos ofrece una visión clara de las prioridades de las acciones de contingencia particulares a adoptar.

Por otro lado, debido a la circunstancia de que para acometer estas nuevas obras dentro de *NRFF* se ha de preparar un plan de inversión plurianual, incluyendo su dotación económica, cuyo contenido resulta ajeno a este estudio, la secuencia de montaje queda perfectamente definida por el índice global. Siguiendo la misma, se ha elaborado la siguiente planificación para la adquisición y montaje de norayes de 300 toneladas:

- 2 en popa + 1 en proa muelle 14 Ferrol (realizado en el año 2009).
- 2 en popa + 1 en proa muelle 11 Fene (realizado en el año 2010).
- 1 en popa muelle 9 Ferrol + 1 en proa muelle 14 Ferrol (realizado en el año 2010).
- 1 en muelle 11 Fene + 1 en popa muelle 9 Ferrol + 2 en proa muelle 12 Fene (realizado en el año 2011).
- 1 en popa muelle 12 Fene (realizado en el año 2012).
- 2 en popa muelle 10 Fene (previsto para el año 2014).
- 2 en proa muelle 10 Fene (previsto para el año 2015).

Es necesario indicar que, debido a la escasez de puntos de amarre de través en los muelles 9 de Ferrol y 12 de Fene, como indica su índice de medios, ha sido necesario intercalar estos en la secuencia determinada, con el fin de asegurar a los buques contra los vientos de media intensidad procedentes del nordeste. Esta necesidad fue identificada con el uso del programa desarrollado del que trata el capítulo 5.



Figura 6.46 Imagen del amarre de popa del buque Hispania Spirit en el muelle 9 de Ferrol, con dos nuevos norayes de 300 toneladas, tomada desde abord. Fuente: Autor

CAPÍTULO VII: NOTIFICACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS

7.1 INTRODUCCIÓN

La Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET*), dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, es el organismo oficial responsable de la elaboración y difusión de las alertas debidas a fenómenos meteorológicos adversos. Su actuación se encuentra regulada por el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos (*Meteoalerta*), cuyo objeto es “*facilitar a todos los ciudadanos y a las instituciones públicas, muy singularmente a las autoridades de Protección Civil, la mejor y más actualizada información posible sobre los fenómenos atmosféricos adversos que se prevean, con un adelanto de hasta 60 horas, así como mantener una información puntual de la evolución de los mismos, una vez que se ha iniciado su desarrollo*” (Plan Nacional de Predicción y Vigilancia, 2009, p. 7, disponible en Anexo 7.1).

Los boletines de alerta debidos a fenómenos meteorológicos adversos generados por *AEMET* contemplan, tanto aquellas adversidades que tienen un origen intrínsecamente meteorológico (lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas, oleaje en la costa, etc.) como aquellas otras cuya ocurrencia pueda derivarse de los mismos, tales como los aludes. Para cada uno de los fenómenos citados, se establecen cuatro niveles básicos de avisos tal y como muestra la figura 7.1.

NIVEL VERDE	No existe ningún riesgo meteorológico
NIVEL AMARILLO	No existe riesgo meteorológico para la población en general, aunque sí para alguna actividad concreta.
NIVEL NARANJA	Existe un riesgo meteorológico importante (fenómenos meteorológicos no habituales y con cierto grado de peligro para las actividades usuales).
NIVEL ROJO	El riesgo meteorológico es extremo (fenómenos meteorológicos no habituales, de intensidad excepcional y con un nivel de riesgo para la población muy alto).

Figura 7.1 Niveles de alerta por Fenómenos Meteorológicos Adversos (disponible en **Anexo 7.1**). Fuente: Plan Nacional de Predicción y Vigilancia

Los valores umbrales de las magnitudes que definen cada uno de los niveles varían en función de la situación geográfica, atendiendo a razones de probabilidad de ocurrencia. El plan divide el territorio español en zonas de riesgo de exposición similar, a las que asigna un código para su identificación. La figura 7.2 muestra la división correspondiente a la Comunidad Autónoma de Galicia en la que se encuentra la zona Noroeste de A Coruña donde está situada la Ría de Ferrol y los umbrales de aviso correspondientes a las alertas por viento, lluvia acumulada en doce horas y lluvia acumulada en una hora. La posición geográfica de cada zona dentro de la provincia de A Coruña se encuentra indicada en la figura 7.8.

El mencionado plan define también tres aspectos fundamentales a tener en cuenta a la hora de evaluar el riesgo generado por el fenómeno anunciado, tales como:

1. **Probabilidad**, sobre la que se aplica la terminología siguiente:
 - Posibilidad o posible: Cuando la probabilidad de que ocurra el fenómeno se encuentre entre el 10 y el 40%.
 - Probable: Probabilidad entre el 40 y 70%.
 - Muy probable: La probabilidad es mayor del 70%.
2. **Intensidad**: En el caso de que la alerta anunciada sea debida a fuertes vientos, la predicción se emite empleando como magnitud fundamental la velocidad media tomada durante 10 minutos, aunque en algunas ocasiones se hace referencia a valores instantáneos (rachas). Se distinguen los siguientes términos:
 - Moderados: Cuando la velocidad media esperada se encuentre entre 21 y 40 km/h
 - Fuertes: Entre 41 y 70 km/h
 - Muy fuertes: Entre 71 y 120 km/h
 - Huracanados: Velocidad media mayor de 120 km/h
3. **Duración**: Expresada en términos de porcentaje sobre el tiempo total de predicción, se diferencian de la forma siguiente:
 - Ocasionalmente: Cuando la duración del aumento o disminución de la velocidad del viento vaya a ser alrededor del 10% del tiempo total de predicción.
 - Intervalos: Cuando la duración de los aumentos y disminuciones de la velocidad del viento vaya a ser en total de alrededor del 20% del período total.

La *AEMET* posee una red de unidades regionales equipadas con los más avanzados medios técnicos, llamadas Grupos de Predicción y Vigilancia (*GPV*), que se encuentran operativos las 24 horas del día y son los responsables de la predicción y vigilancia del tiempo en sus respectivas regiones así como de la emisión de los correspondientes boletines de alerta. La información contenida en los mismos se distribuye a las autoridades responsables de Protección Civil (Comunidad Autónoma y Delegaciones y Subdelegaciones de Gobierno), así como a los Centros Regionales de Salvamento Marítimo, medios de comunicación y se publica en la página web de *AEMET*. Cuando el fenómeno meteorológico detectado afecta a varias Comunidades Autónomas, el boletín correspondiente se emite desde el Centro Nacional de Predicción, difundándose a través de los Ministerios de Medio Ambiente y Fomento y de diversas Direcciones Generales.

El horario de emisión de los boletines de alerta, tanto para el día actual como para el siguiente, se encuentra también fijado oficialmente dentro del plan, estableciéndose para ello las 10:00 y 19:00 h. No obstante, podrá emitirse de forma inmediata y a cualquier hora cuando la situación lo requiera. Los avisos para pasado mañana se emiten a las 10:30 h.

UMBRALES			VIENTO (km/h)			LLUVIA (mm/12h.)			LLUVIA (mm/1 h.)		
CODIGO	NOMBRE DE LA ZONA	PROVINCIA	Amarillo	Naranja	Rojo	Amarillo	Naranja	Rojo	Amarillo	Naranja	Rojo
711501	NOROESTE DE A CORUÑA	A CORUÑA	80	100	140	40	80	120	15	30	60
711502	OESTE DE A CORUÑA	A CORUÑA	80	100	140	40	80	120	15	30	60
711503	INTERIOR DE A CORUÑA	A CORUÑA	70	90	130	40	80	120	15	30	60
711504	SUROESTE DE A CORUÑA	A CORUÑA	80	100	140	40	80	120	15	30	60
712701	A MARIÑA	LUGO	80	100	140	40	80	120	15	30	60
712702	CENTRO DE LUGO	LUGO	70	90	130	40	80	120	15	30	60
712703	MONTAÑA DE LUGO	LUGO	80	100	140	40	80	120	15	30	60
712704	SUR DE LUGO	LUGO	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713201	NOROESTE DE OURENSE	OURENSE	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713202	MIÑO DE OURENSE	OURENSE	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713203	SUR DE OURENSE	OURENSE	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713204	MONTAÑA DE OURENSE	OURENSE	80	100	140	40	80	120	15	30	60
713205	VALDEORRAS	OURENSE	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713601	RÍAS BAIXAS	PONTEVEDRA	80	100	140	40	80	120	15	30	60
713602	INTERIOR DE PONTEVEDRA	PONTEVEDRA	70	90	130	40	80	120	15	30	60
713603	MIÑO DE PONTEVEDRA	PONTEVEDRA	80	100	140	40	80	120	15	30	60

Figura 7.2 Valores umbrales de alerta por viento y lluvia para la Comunidad Autónoma de Galicia. Fuente: Plan Nacional de Predicción y Vigilancia

Navantia Ría de Ferrol tiene designados dos números de fax para la recepción de estos avisos (981331468, correspondiente a la Secretaría de la Unidad Productiva [UP] del Astillero y 981331459, de la Central de Seguridad Industrial) y ha desarrollado un procedimiento (véase Anexo 7.2) para la difusión interna de los mismos vía fax y correo electrónico a todas aquellas personas cuyas funciones, dentro de su organización, puedan verse afectadas por el fenómeno meteorológico anunciado.

El boletín oficial puede llegar a recibirse, vía fax, desde cuatro fuentes distintas:

- Grupo de Prevención y Vigilancia (GPV) de Galicia (Fax de origen: 981251640).
- Centro de Atención de Emergencias – 112 Galicia, dependiente de la Dirección Xeral de Emergencias e Interior de la Xunta de Galicia (Fax de origen: 981541414).
- Comandancia Naval de Ferrol, dependiente del Ministerio de Defensa (Fax de origen: 981336347).
- Centro de Coordinación de Salvamento (CCS) de La Coruña, dependiente de Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (Fax de origen: 981209518).

Dentro del Anexo 7.3 puede consultarse un ejemplo de cada una de ellas.

En el caso de que el aviso de alerta se reciba dentro de la jornada laboral de la mañana, y de lunes a viernes, la Secretaría de la UP de Astillero es la responsable de su escaneado y distribución al resto de las Unidades Productivas y Servicios Compartidos de Navantia Ría de Ferrol, vía correo electrónico.

Si dicho aviso se recibiese en horario de tarde o en un día no laborable, será la Central de Seguridad Industrial quién lo reenviará a las direcciones indicadas en el Anexo 7.2, haciendo uso tanto del correo electrónico como del fax.

El Departamento de Reparaciones recibe el aviso en cuatro puntos distintos de su organización: Director, Jefe de Producción Fene-Ferrol, Secretaría del centro de Fene y Secretaría del centro de Ferrol. Desde aquí, se distribuye por correo electrónico a los Jefes de Auxilios a la Producción y Jefes de Producción de ambos centros así como a la Jefatura de Marineros.

Diversas experiencias vividas en los últimos años han evidenciado que el proceso anteriormente descrito no resulta ser el más adecuado, especialmente en aquellos casos en los que entre los días de alerta y el día en el que se espera que se produzca el fenómeno anunciado se encuentren periodos festivos o fines de semana que inducen un retraso notable en alguno de los puntos de toda la cadena mencionada. En este sentido, merecen mención ciertas situaciones de alerta en las que la notificación de la misma se recibió el mismo día, e incluso, una vez transcurrida la finalización del episodio al que hacían referencia, lo que evidencia la necesidad de buscar un procedimiento alternativo que resulte más eficiente.

7.2 OBJETIVOS

El tiempo de preaviso de un fenómeno meteorológico adverso representa una magnitud de extrema importancia a la hora de preparar de forma adecuada todas las medidas preventivas que se estimen apropiadas en función de la intensidad esperada del mismo.

Podemos asegurar que la mejora de este tiempo de preaviso constituye en sí misma una medida de mitigación del riesgo por rotura de amarras.

En el año 2010 la dirección de *NRFF*, consciente de esta necesidad de mejora, decidió encargar al grupo de informáticos que trabajan para esta unidad el desarrollo de un programa que, de forma automática, consultara las páginas oficiales de los organismos de predicción meteorológica y, en el caso de que existiera una alerta en la zona, notificara a aquellas personas que, dentro de la organización, tengan responsabilidades de actuación como consecuencia de la misma.

Por otro lado, cabe mencionar que es de vital importancia que esta información se hiciera llegar también a los capitanes e inspectores de los buques que se encontrasen en ese momento amarrados en los muelles de *NRFF* debido a dos razones fundamentales:

1. Al igual que en el caso del Astillero, facilitar la evaluación de la situación y la consiguiente toma de decisiones e implementación de las acciones que se estimen oportunas para hacer frente a la alerta.
2. Cumplir con el deber de información que el Astillero tiene con respecto al buque en relación con las condiciones excepcionales que se puedan dar en la zona.

Una vez cubierta esta necesidad y, sacando provecho de los medios necesarios para la realizar la misma, se ha ampliado el programa mencionado con el fin de enviar diariamente la siguiente información:

- a. **Gráfico resumen de Meteogalicia:** Incorpora la predicción del día actual y los tres días siguientes en forma de gráfico (véase la figura 7.3), detallando las siguientes magnitudes:
- Viento, humedad relativa y temperatura (a diferentes alturas) en un perfil vertical del modelo de la localidad (Ferrol). Los valores más altos de humedad se representan con colores verdes, quedando los grises y blancos para zonas con poca humedad.
 - Presión barométrica en milibares al nivel del mar.
 - Velocidad de viento a 10 metros de altura en m/s y su dirección.
 - Temperatura de bulbo seco y punto de rocío en °C.
 - Humedad relativa a dos metros de altura en porcentaje.
 - Precipitación prevista en milímetros.

Podemos apreciar a la vista del gráfico que la información que contiene está dispuesta de una manera muy clara y perfectamente estructurada. Es de destacar la gran utilidad de la sección superior para identificar la entrada de diferentes masas de aire (frío, templado, húmedo o seco) y su influencia en los valores superficiales que se muestran en las gráficas inferiores. La escasez de textos, así como la sencillez de su disposición, la hacen fácilmente adaptable a cualquier otro idioma y permite la visualización en un terminal de telefonía móvil con recepción de datos.

Su preparación se basa en un modelo meteorológico denominado WRF (*Weather Research and Forecasting*) que Meteogalicia ejecuta dos veces al día (00:00 y 12:00 UTC) en el superordenador Finisterrae del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA). Dicho modelo recoge las condiciones de contorno del global GFS (*Global Forecast System*) cada 3 horas y se ejecuta en tres mayas de distinta amplitud:

- 36 kilómetros de resolución, que cubre todo el suroeste europeo y buena parte del Océano Atlántico con el objetivo de adaptar las condiciones de contorno al modelo WRF y así transmitir las adecuadamente a las mayas de mayor resolución.
- 12 kilómetros de resolución que cubre toda la Península Ibérica.
- 4 kilómetros de resolución centrada sobre Galicia.

La calidad de estas predicciones está bien contrastada en el tiempo ya que, desde la creación de Meteogalicia, se viene usando diariamente como fuente de información para la programación de aquellos trabajos propios de la reparación de los buques que dependen en gran medida de las condiciones meteorológicas, tales como los de chorreado y pintura,

trabajos de exteriores en altura, o maniobras de grandes pesos, destacando por su gran fiabilidad para el mismo día de la predicción así como para el siguiente.

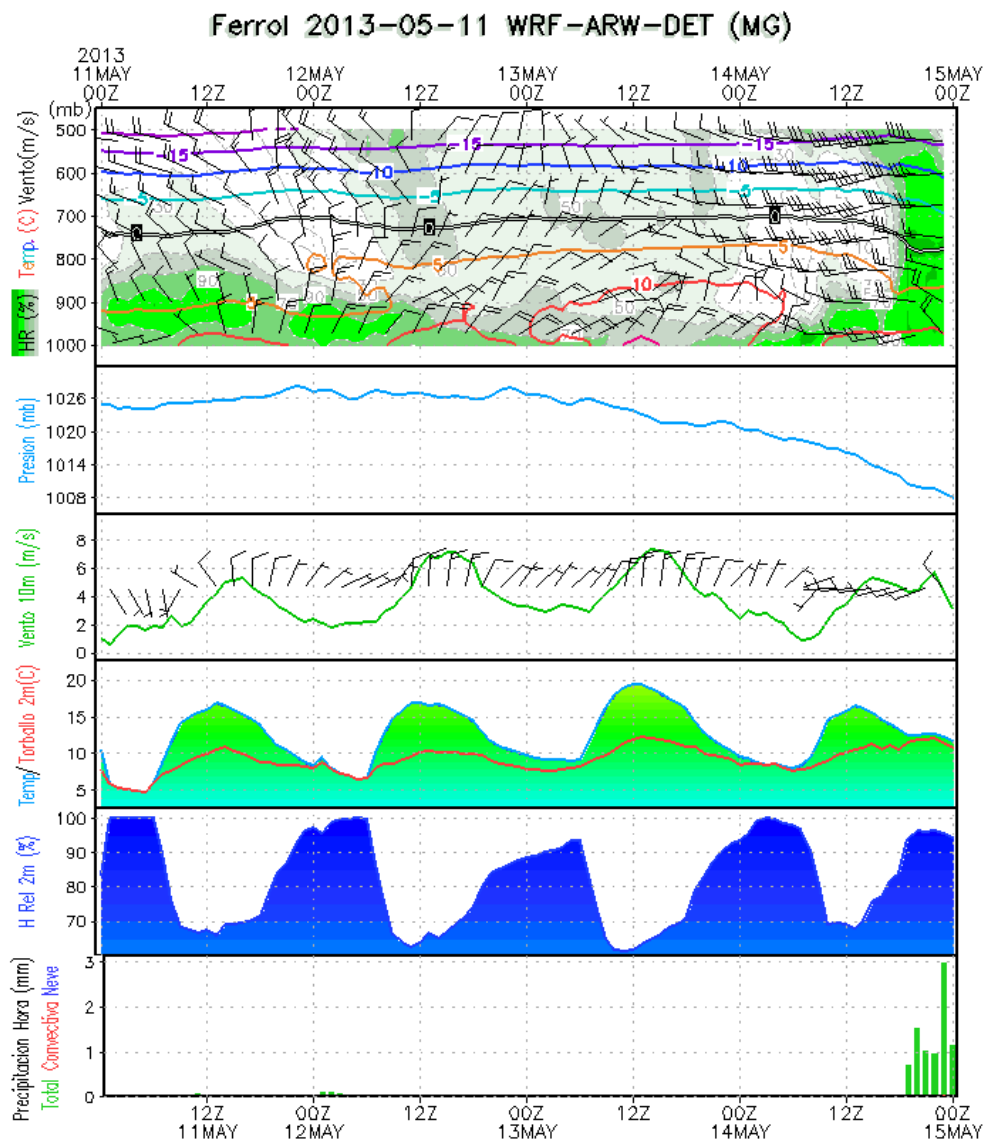


Figura 7.3 Imagen de la serie temporal según el modelo meteorológico WRF. Fuente: Meteogalicia. Disponible en: http://www.meteogalicia.es/datosred/modelos/wrf_arw_det/r0/00/mh_wrf_arw_det_d03_mt_15036.png

- b. **Evolución gráfica de las borrascas:** Se trata de una composición realizada por la propia aplicación que muestra de forma gráfica y a intervalos de 6 horas la predicción de vientos para los dos días siguientes, basada en la información proporcionada por el Instituto de Meteorología alemán (*Wetterzentrale*), permitiendo de forma intuitiva observar la evolución de las borrascas del Océano Atlántico que pudieran afectar a nuestra zona.

En una sola página de tamaño DIN A-4 se representan un total de ocho gráficos similares al mostrado en la figura 7.4, lo que facilita una visión panorámica de la situación en las próximas 48 horas. El empleo de un código de colores para la indicación de la velocidad del viento logra una gran claridad en la representación gráfica de la situación que permite un

análisis sencillo, independientemente de los conocimientos meteorológicos o del idioma de la persona que la recibe (véase la figura 7.12).

- c. **Tabla de mareas:** Contiene los horarios de pleamar y bajamar así como la diferencia de altura entre ambas, tanto del día actual como del siguiente. Estos datos ayudarán tanto a las tripulaciones de los buques como a los responsables del Astillero en la labor de atención adecuada de los cabos.

A modo de resumen, podemos indicar que el sistema realizará dos funciones bien diferenciadas:

1. Consultará dos veces al día (a las 12:00 h y 20:00 h) la página web de la Agencia Estatal de Meteorología para comprobar si existe alguna alerta meteorológica en la provincia de A Coruña. El horario elegido está en consonancia con el que se ha adoptado en el Plan de Prevención y Vigilancia, mencionado anteriormente. En el caso de que esta búsqueda tenga resultado positivo, enviará un correo electrónico a todas aquellas direcciones previamente fijadas (personal de Navantia con responsabilidades de actuación y Capitanes e Inspectores de los buques que se encuentren reparando) conteniendo la información ofrecida en dicha página.
2. Preparará un informe diario que agrupe la mencionada tabla de mareas, el gráfico resumen de Meteorogalicia y la evolución de las borrascas que será enviado por correo electrónico a las direcciones fijadas previamente.

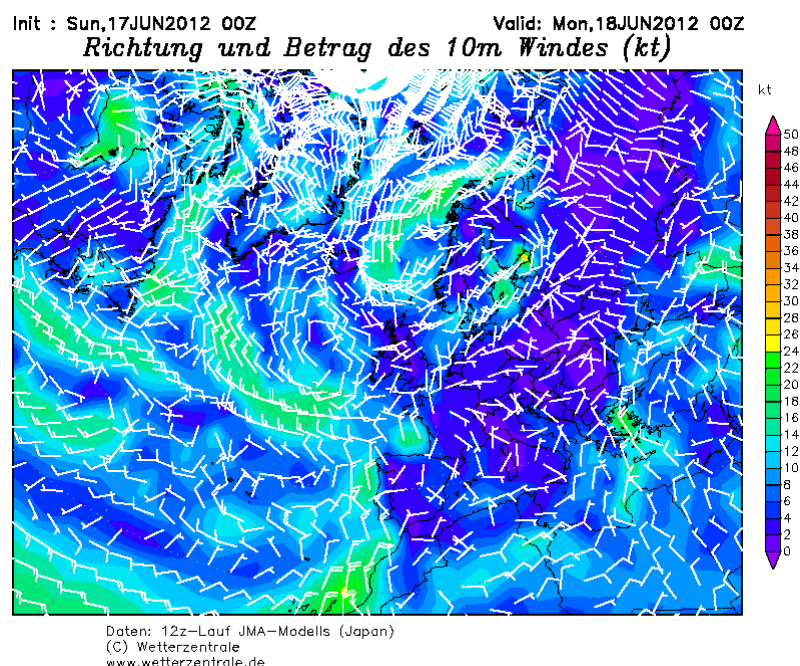


Figura 7.4 Representación gráfica de la predicción de velocidad y dirección del viento. Fuente: Wetterzentrale. Disponible en: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsjmaeur.html>

Cabe destacar que la dirección de la empresa ha dotado a aquellas personas con responsabilidades de actuación (jefes de buque, personal directivo y jefes de gremio) con dispositivos portátiles que permiten la recepción de los correos mencionados en cualquier lugar con cobertura de servicio de datos, cerrando de esta forma el ciclo de comunicación.

7.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para la consecución de las funciones relacionadas anteriormente, se ha dispuesto un ordenador dedicado exclusivamente a esta función, que sigue las instrucciones de un programa específico y posee los requisitos mínimos siguientes:

- Trabajo en entorno de Windows y conexión a la red interna.
- Adobe Acrobat PDF: Impresora PDF establecida como predeterminada y configurada para que imprima en el directorio de la aplicación y sin visualizar el documento generado.
- *Irfanview* (Versión 4.28 o superior): Programa de edición de imágenes utilizado para hacer la conversión de formatos así como para adaptar su tamaño.
- Microsoft Excel (2003 o superior): Utilizado para la creación de un fichero “.xls” que sirve de plantilla para enmarcar el informe de Meteogalicia obtenido y dotarlo de un encabezado con el logotipo de la empresa.
- Librería de fuentes de Adobe instaladas en la ruta de la aplicación.
- Conexión a Base de Datos en SQL Server para la gestión de las direcciones de correo y la extracción de los datos necesarios para la generación de la tabla de mareas, aprovechando el desarrollo de otra aplicación, denominada GOPYP, utilizada en la Unidad Productiva de Reparaciones para la gestión general, tanto desde el Departamento de Presupuestos como desde el de Producción, denominada.

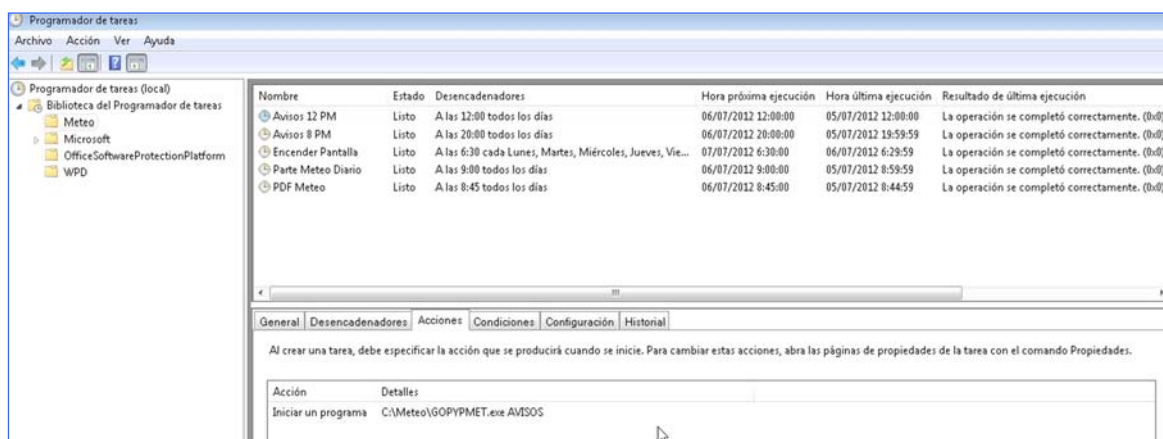


Figura 7.5 Captura de pantalla del programador de tareas. Fuente: NRFF

El programa, que se ha desarrollado con el uso del lenguaje Visual Basic (versión 6), está ideado para ejecutar a determinadas horas del día una serie de tareas que se arrancan utilizando el “Programador de

Tareas de Windows”¹¹². El arranque de cada una de ellas se detalla en la captura de pantalla que refleja la figura 7.5.

Cada una de estas tareas iniciará una fase del programa que contiene unas instrucciones determinadas agrupadas en tres funciones principales que se ponen en marcha con los siguientes parámetros:

- AVISOS [A N R]: Consulta la existencia de alertas en la provincia de A Coruña, dentro la página web de AEMET, con la posibilidad de selección del nivel de alerta a partir del cual se desean recibir los avisos (N naranja, A amarillo y R rojo). Por defecto, los tendrá todos en cuenta. Se activará diariamente a las 12:00 y 20:00 h y enviará el correspondiente informe cuando así proceda. Ejecuta el proceso AEMET. A modo de aclaración, cabe indicar que el parámetro “*c:\meteo\gopymet.ex AVISOS N*”, correspondiente a la tarea “AVISOS 12 PM”, ejecuta la función de enviar avisos de nivel naranja y superiores, tal y como se resalta en la figura 7.5.
- GUARDAR: Corresponde a una parte del programa ajena a nuestro estudio que utiliza la información generada por los otros dos bloques para guardarla en una ruta determinada con el fin de ser publicada en los paneles de información sobre prevención de riesgos laborales distribuidos por la empresa. Se ejecuta diariamente a las 08:45 h.
- INFORMES: Genera y envía el informe meteorológico diario. Esta tarea está programada para arrancarse todos los días a las 09:00 h, cuando Meteogalicia tiene ya actualizada la predicción diaria. Ejecuta el proceso METEOWETTER.

El programa se ha desarrollado en una estructura compuesta por los cinco módulos siguientes:

- MÓDULO PRINCIPAL: Disponible en el Anexo 7.4, compone la base del sistema.
- MÓDULO API: Utiliza librerías de Windows para la manipulación de ficheros. Disponible en el Anexo 7.5.
- MÓDULO SHELL: Utiliza librerías de Windows para la ejecución de programas o tareas del sistema. Disponible en el Anexo 7.6.
- MÓDULO PDF: Destinado a la generación de un fichero “.pdf”, incluye varias funciones para definir todos sus parámetros, tales como tamaño, orientación, tipo de letra, posición del texto, etc. Se encuentra disponible en el Anexo 7.7.
- MÓDULO CORREO: Disponible en el Anexo 7.8, configura un servidor SMTP para el envío de correos.

7.3.1 AVISO DE ALERTAS (PROCESO AEMET)

Como se ha indicado previamente, es el proceso responsable de consultar y distribuir las posibles alertas meteorológicas en la zona. Para ello, sigue los pasos siguientes:

¹¹² El programador de tareas de Windows se encuentra accesible desde el “Panel de Control” del menú “Inicio”.

1. Consulta en Internet la dirección siguiente (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 13): [http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/avisos?w= "día" & p= "provincia"](http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/avisos?w=), completando los valores "día" y "provincia" (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 1) en los siguientes campos:
 - w= "hoy", "mna" ó "pmna", para obtener la predicción del día actual (hoy), mañana (mna) y pasado mañana (pmna).
 - p= por el código de la zona a consultar (7115 para la provincia de A Coruña).

En el caso de que no exista dicha página se interpreta como que no hay alerta.

2. Si la página existe, se guarda como fichero de texto "página web completa, (*.html)". La figura 7.6 muestra un fragmento de un ejemplo guardado en código fuente.

```

-----

<div class="contenedor_pestanhas">
    <div class="contenedor_pestanhas_niv1">
        <ul>
            <li class="pestanha_off">
                <a
href="/es/eltiempo/prediccion/avisos?p=7115&w=hoy"          class="pdl25pdr20">martes
5&nbsp;
                </a></li>
                <li class="pestanha_off_der">
                    
                </li>
            <li class="pestanha_off">
                <a
href="/es/eltiempo/prediccion/avisos?p=7115&w=mna"          class="pdl25pdr20">miércoles
6&nbsp;
                </a></li>
                <li class="pestanha_off_der">
                    

```

Figura 7.6 Fragmento de página .html en código fuente. Fuente: NRFF

3. Dentro de la página realiza las siguientes búsquedas:
 - a. Si existen las cadenas de caracteres "No hay avisos meteorológicos" o "Información en elaboración", se interpreta como que no hay alerta publicada.

- b. Dentro de cada uno de los días (hoy, mañana y pasado mañana) trata de localizar la cadena “*leyendas/leyenda_*” que corresponde al símbolo de alerta de forma rectangular situado a continuación del texto “*Risk level*” (véase figura 7.7).
 - c. Una vez localizada, decide si guardarla o no en función del nivel mínimo de alerta preseleccionado, buscando en el texto las cadenas “*amarilla2*”, “*naranja2*” y “*rojo2*” (Véase Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 14).
4. Si el resultado de esta búsqueda es positivo, se confirma la existencia de la alerta, con lo que se procede a volver a la página consultada y extraer de la misma un fichero en formato “.pdf” que se ofrece en la dirección siguiente:

<http://www.aemet.es/es/-s:pdf/eltiempo/prediccion/avisos?w=hoy&p=7115>

Al igual que en el proceso de búsqueda, se completan los campos “*w=*” y “*p=*” por el día de hoy, mañana y pasado mañana, así como el código provincial.

5. Se guardan los ficheros “.pdf” de las alertas con el nombre de “*Warning*”, seguido de la fecha del día y hora actual, para ser enviados por correo electrónico como archivo adjunto (Véase Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 15). La figura 7.7 muestra un ejemplo del mismo.

Homepage • The Weather • Forecast • Warnings

Weather Warnings: A Coruña

Friday 15 ■ Saturday 16 ■ Sunday 17 ■

Elaborated: Friday, 15 June 2012
Validity: Saturday, 16 June 2012 00:00

Risk:

Risk level ■	
Phenomenon	Wind Maximum gust of wind : 80 km/h
Geographical Field	Noroeste
Beginning time	Friday, 15 June 2012 10:00 hora oficial
Ending time	Friday, 15 June 2012 18:00 hora oficial

Risk level ■	
Phenomenon	Coastal
Geographical Field	Noroeste
Beginning time	Friday, 15 June 2012 09:00 hora oficial
Ending time	Friday, 15 June 2012 16:00 hora oficial

Risk level ■	
Phenomenon	Coastal
Geographical Field	Oeste
Beginning time	Friday, 15 June 2012 09:00 hora oficial
Ending time	Friday, 15 June 2012 14:00 hora oficial

■ No Risk ■ Risk ■ Important Risk ■ Extreme Risk

Figura 7.7 Ejemplo del fichero .pdf disponible en la página web de Aemet, enviado como fichero adjunto. Fuente: NRFF

6. Teniendo en cuenta que alguno de los destinatarios de este correo serán desconocedores tanto la posición geográfica del Astillero como las zonas de división dentro de la Comunidad Gallega a las que hace referencia la alerta (inspectores y tripulaciones de los buques), se adjuntará el diagrama mostrado en la figura 7.8 con el nombre de “*Geographical Fields .pdf*” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p.12) al objeto de facilitar su localización.

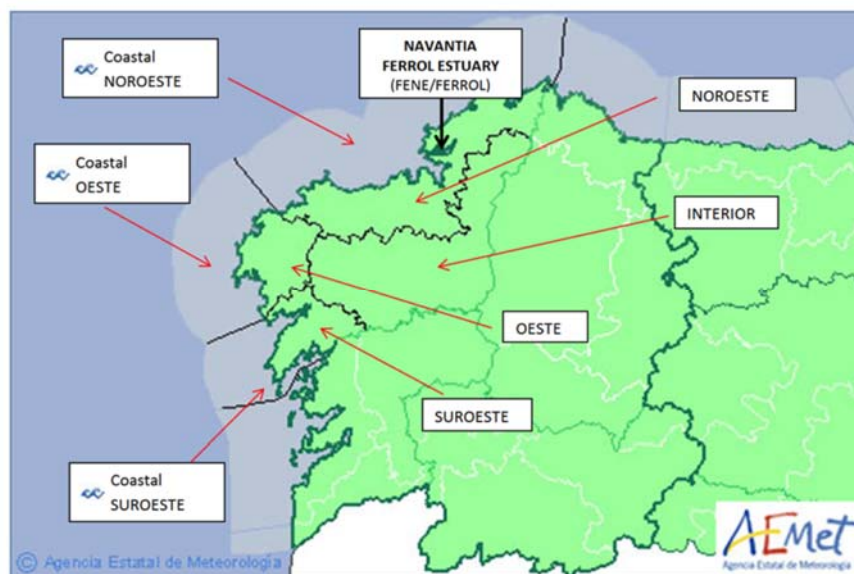


Figura 7.8 Imagen de la división zonal de la provincia de A Coruña (*Geographical Fields.pdf*). Fuente: NRFF

7. Se prepara el correo electrónico a enviar desde la dirección avisosmeteo@navantia.es con el texto “*Weather warnings*” seguido de la fecha y hora actuales, que se replica también en el “Asunto” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p.12). La figura 7.9 muestra el aspecto del mensaje generado, donde pueden apreciarse los iconos de los documentos “.pdf” adjuntos.

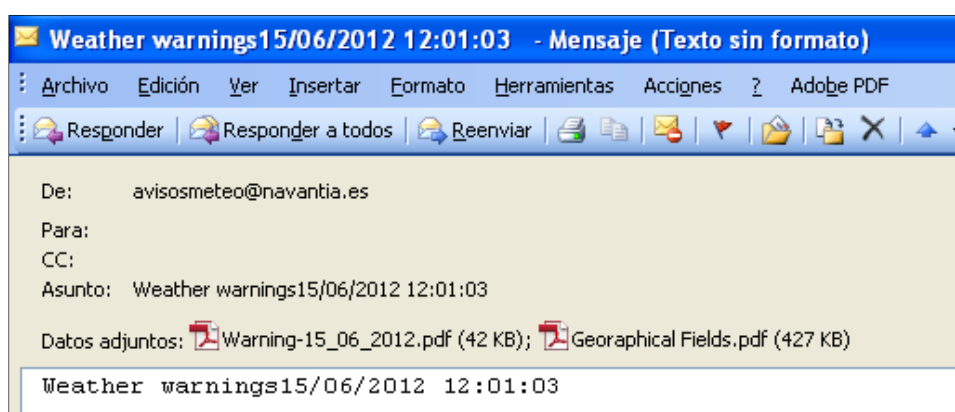


Figura 7.9 Captura de pantalla del correo electrónico de alerta generado. Fuente: NRFF

8. Se completan las direcciones de envío del correo electrónico generado, todas ellas en copia oculta (CCO), las cuales se encuentran divididas en dos grupos:
 - a. **Destinatarios fijos:** Personal de Navantia con funciones que pueden verse afectadas por la existencia de la alerta, entre los que caben destacar:

- Dirección
 - Jefes de Producción
 - Jefes de buque
 - Jefes de Auxilios a la Producción
 - Departamento de Prevención
- b. **Destinatarios variables:** Formados por el personal relacionado con los buques que en el momento de la alerta se encuentran amarrados o varados en el Astillero, tales como sus capitanes e inspectores responsables de la reparación. Las direcciones de correo correspondientes se almacenan en una base de datos del programa de gestión GOPYP y se actualizan desde la Secretaría de Dirección en función de la entrada o salida de los mismos, de tal forma que una vez que el buque deja el astillero se suprimen automáticamente las direcciones de correo asociadas al mismo. La figura 7.10 muestra la pantalla de asignación de las direcciones de correo dentro del expediente de reparación de un buque determinado.



Figura 7.10 Captura de pantalla del programa de gestión GOPYP utilizada para el envío de los correos de información meteorológica dentro del expediente de reparación del buque "British Emerald"

9. Finaliza la tarea enviando el correo generado con el uso de la función "EnviarcorreoCDO" (Anexo 7.8, Módulo Correo), que emplea la API de Windows para enviar correos SMTP con un servidor de EXCHANGE utilizado en la empresa y eliminando todos los documentos ".pdf" creados.

7.3.2 INFORME DIARIO (PROCESO METEOWETTER)

Como indicamos anteriormente, el proceso METEOWETTER es el responsable de la creación y envío del informe diario conteniendo el gráfico de Meteogalicia, la evolución de las borrascas y la tabla de mareas. La secuencia programada para realizar estas funciones se detalla a continuación:

7.3.2.1 Gráfico resumen de Meteogalicia

Se activa con el procedimiento "GuardarFicheroMeteoGalicia" (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 6), que consulta el enlace siguiente:

www.meteogalicia.es/datosred/modelos/wrf_arw_det/r0/00/mh_wrf_arw_det_d03_mt_15036.png

donde se encuentra un gráfico similar al mostrado en la figura 7.3 que corresponde a la información facilitada en la página web de Meteogalicia, siguiendo la ruta: www.meteogalicia.es ⇒ Modelos

Numéricos ⇒ Imaxes dos modelos ⇒ Atmosféricos Deterministas ⇒ Local (WRF) ⇒ 00 UTC ⇒ Series ⇒ Galicia ⇒ Ferrol.

Aunque cabría la posibilidad de enviar este fichero directamente como adjunto una vez convertido a “.pdf”, por razones comerciales de divulgación de imagen de marca se ha procedido a la personalización del mismo dentro de un formato de Navantia, utilizando el idioma inglés, tal y como se muestra en la figura 7.11.

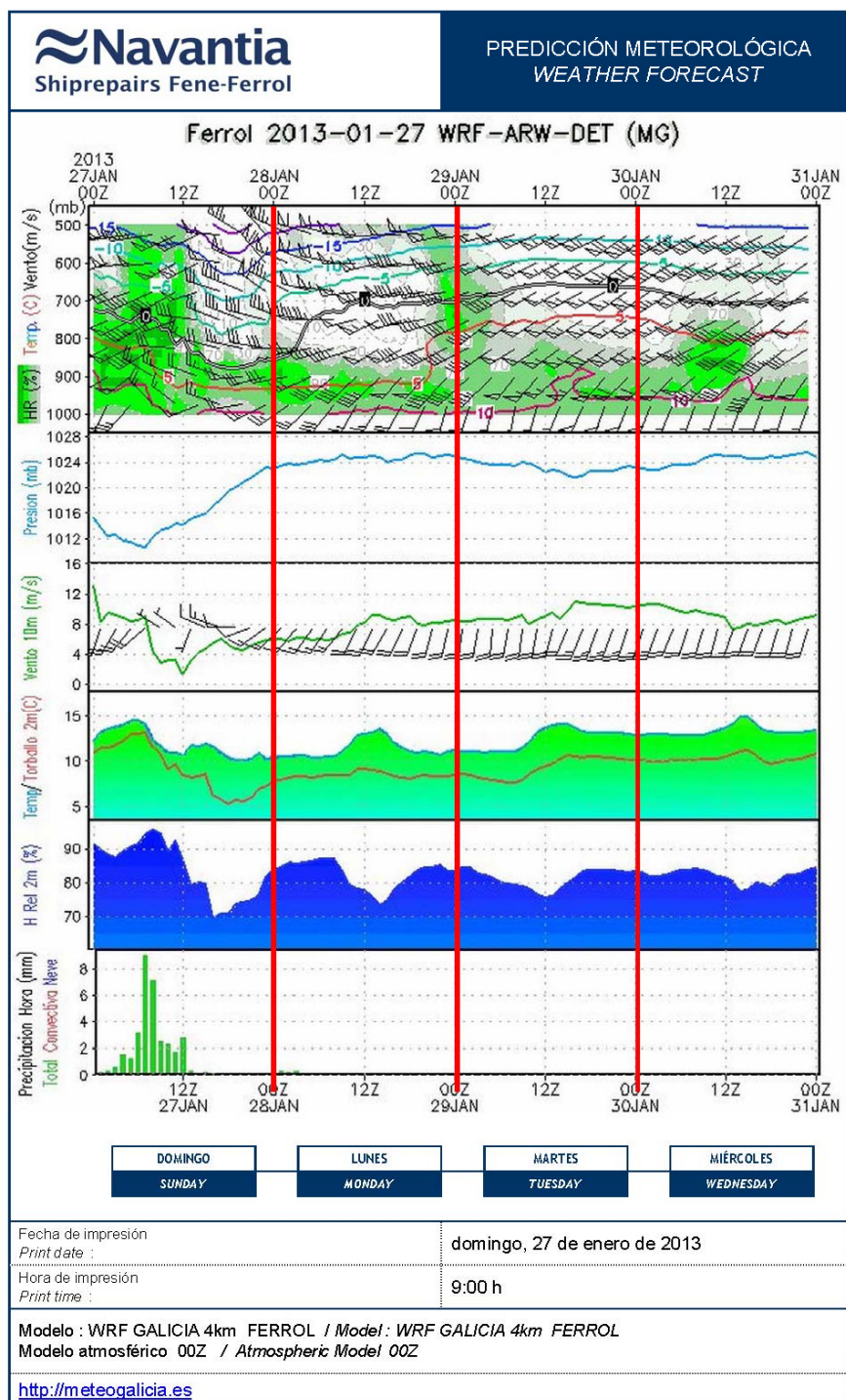


Figura 7.11 Gráfico de Meteogalicia personalizado (Local Weather Forecast Jan 27th .pdf). Fuente: NRFF

Para su consecución, ha sido necesario crear una plantilla en Microsoft Excel dentro de la que se insertará el gráfico original, siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Convierte el gráfico de Meteogalicia (con extensión “.png”) a formato “.jpg” con el uso del parámetro “Convert” del programa “Irfanview” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 6)
2. Dimensiona el fichero obtenido por medio de los parámetros “/resize=(1542,1850)/resimple” para encajarlo en la plantilla Excel (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 6)
3. Crea una copia de la plantilla Excel, la abre e inserta en la misma la imagen modificada (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 6)
4. Redimensiona el conjunto y resalta las líneas rojas de división entre los días (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 6).
5. Imprime el fichero en la impresora configurada por defecto (Adobe Pdf Creador), creando el fichero “meteo.pdf” que se añadirá como adjunto al correo electrónico a enviar (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 7).

7.3.2.2 Evolución gráfica de las borrascas

El procedimiento “GuardarFicheroWetter” es el responsable de realizar una composición de varias imágenes que muestren la tendencia de la predicción de la evolución de las borrascas y su posible influencia en nuestra zona. En la figura 7.12 puede observarse un ejemplo de la misma.

Cada una de estas imágenes (véase la figura 7.4) se obtiene de la página web del Servicio Meteorológico alemán (Wetterzentrale), accesible de acuerdo a la ruta siguiente: www.wetterzentrale.de → Mehr Bodenkarten → GFS → 10 m Wind → 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54 (para cada una de las previsiones a este espacio de tiempo en horas).

Abriendo una de ellas y consultando sus propiedades, observamos que es accesible directamente a través de la dirección siguiente:

<http://www.wetterzentrale.de/pics/RtavnXX8.png>

donde **XX** toma un valor igual a 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 o 54 de acuerdo con el período de tiempo de predicción en horas.

Partiendo de esta ruta de acceso, el programa compone las ocho imágenes en un mismo formato A-4 de acuerdo con la secuencia siguiente:

1. Obtiene las ocho imágenes mencionadas en formato “.png” variando los valores **XX** en una secuencia “For I = 0 to 7” y convierte las mismas a formato “.pdf” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 8).
2. Utilizando el comando “/crop=(0,48,781,600)” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 8) recorta la parte superior de cada una ellas, ya que la experiencia nos ha demostrado que en muchas ocasiones están etiquetadas de forma errónea.

3. Comenzando con la inserción de las leyendas y posicionando seguidamente cada una de las imágenes (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 9-10), compone el documento final.
4. Pone título al documento e inserta la fecha actual, de acuerdo con el siguiente formato: “10 m wind – WEATHER FORECAST **FECHA** & the two following days .pdf”
5. Guarda el fichero final y lo añade a la lista a enviar.

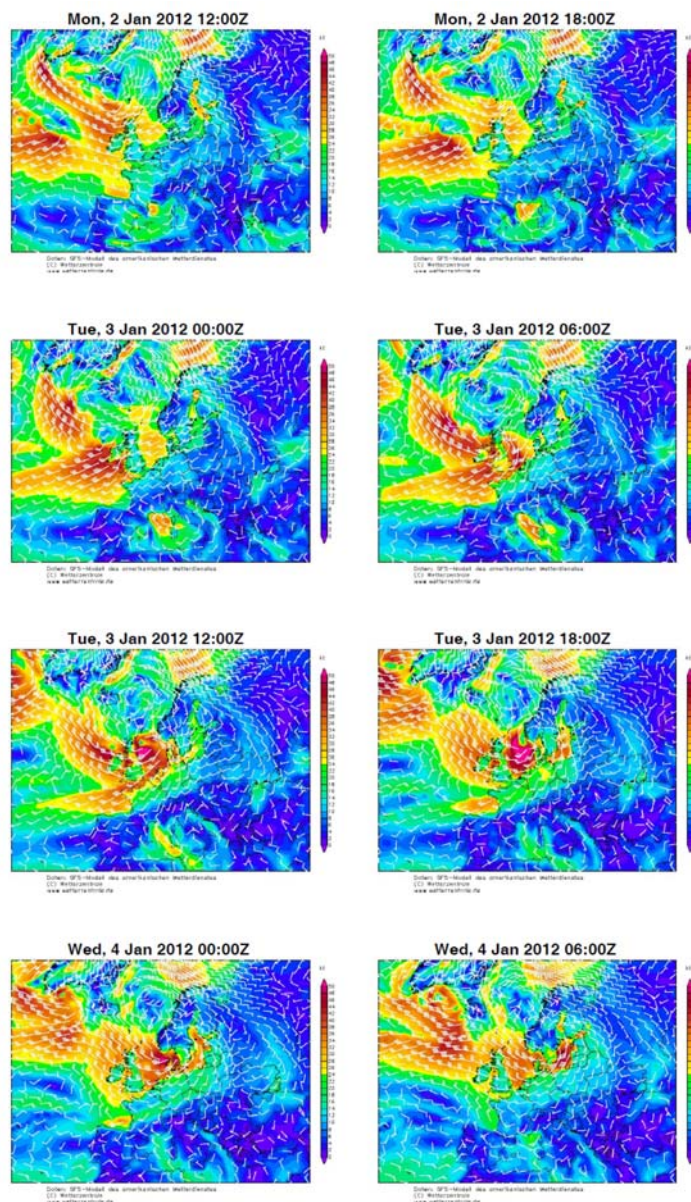


Figura 7.12 Evolución gráfica de las borrascas (10 m wind – WEATHER FORECAST Jul 1th & the two following days.pdf).
Fuente: NRFF

7.3.2.3 Tabla de mareas

Se activa con el procedimiento “CrearTablaMareas” encargado de insertar en el texto del correo electrónico a enviar una tabla, tal como la mostrada en la figura 7.13, conteniendo los horarios de pleamar y bajamar en la Ría de Ferrol, así como la diferencia de altura entre las mismas para la fecha actual y el siguiente día.

El valor de cada uno de los campos se extrae de la base de datos “*Mareas*” (Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 4), aunque, en lugar de mostrar directamente las alturas de pleamar y bajamar, se presenta solamente el diferencial entre ambas con el fin de simplificar en lo posible la información, al objeto de ser usada en la atención de los cabos del buque.

La tabla está compuesta en código fuente (“.html”) para propiciar su inserción directa en el “texto” del correo electrónico.

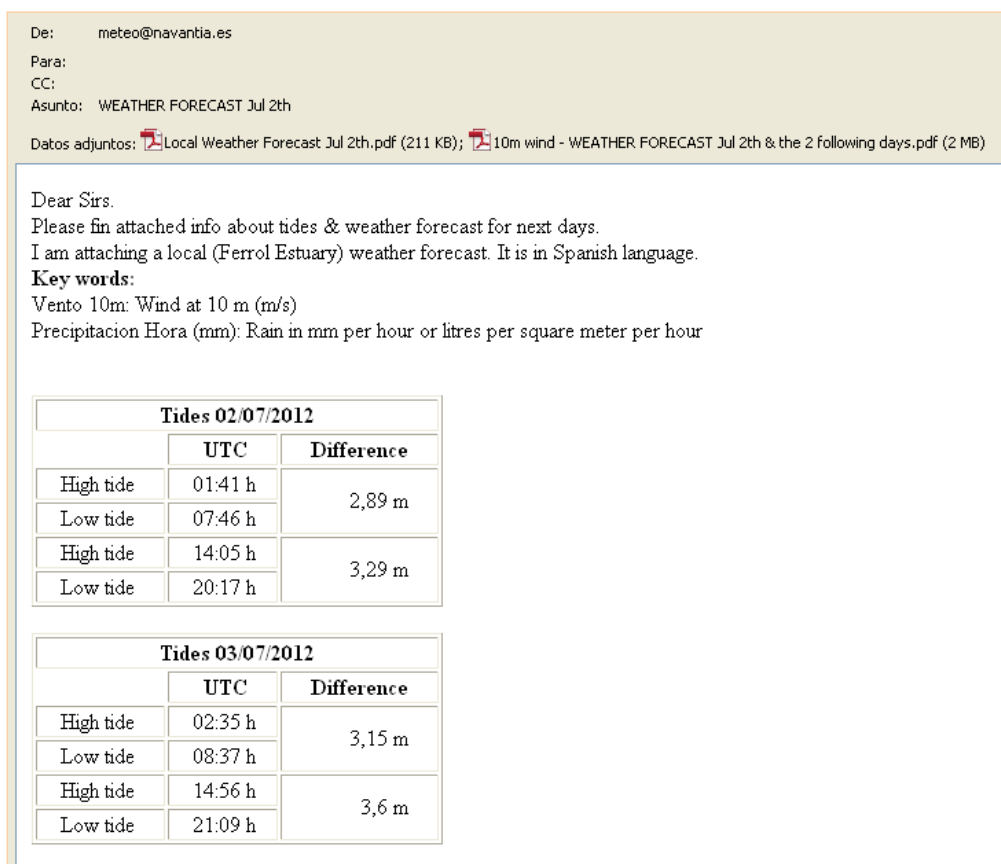


Figura 7.13 Captura de pantalla del correo electrónico de informe diario. Fuente: NRFF

7.3.2.4 Composición y envío del correo electrónico

El procedimiento “*ProcesoMeteoWetter*” es el responsable de la creación del informe meteorológico diario y su envío por correo electrónico del que puede observarse un ejemplo en la figura 7.13. Para su consecución se han seguido los pasos descritos a continuación¹¹³:

1. Carga los destinatarios como “con copia oculta” (CCO), extrayéndolos de la base de datos “PARTEMETEO”, que como indicamos anteriormente, se actualiza desde el programa de gestión de Reparaciones (GOPYP).
2. Inserta la dirección de correo de procedencia (meteo@navantia.es).

¹¹³ Las instrucciones correspondientes se encuentran disponibles en Anexo 7.4, Módulo Principal, p. 3.

3. Pone en marcha el procedimiento “*GuardarFicheroMeteogalicia*” e inserta como adjunto el gráfico resultante mostrado en la figura 7.11.
4. Arranca el procedimiento “*GuardarFicheroWetter*” que, tal y como se indicó en la sección 7.2.2.2, es el responsable de la creación de un documento en formato “.pdf” como el mostrado en la figura 7.12.
5. Inserta el texto de presentación aclarando el significado de algunas palabras que aparecen en gallego en el informe de Meteogalicia.
6. Pone en marcha el procedimiento “*CrearTablaMareas*” (sección 7.2.2.3).
7. Rellena el campo “*Asunto*” del correo electrónico con el texto “WEATHER FORECAST” seguido de la fecha actual.
8. Envía el correo llamando el procedimiento “*EnviarCorreoCDO*” (Anexo 7.8, Módulo Correo) y a continuación elimina todos los ficheros que han sido creados.

CAPÍTULO VIII: MEDIDAS EXTREMAS DE CONTINGENCIA

8.1 INTRODUCCIÓN

Aunque las acciones identificadas en los capítulos anteriores sean capaces de disminuir el índice de criticidad de exposición al riesgo hasta niveles aceptables, otros riesgos de baja o muy baja frecuencia necesitan ser estudiados en mayor profundidad con el fin de dar respuesta a las situaciones siguientes:

- Cuando la velocidad del viento anunciada por la alerta pueda superar las premisas consideradas en nuestro estudio y, en consecuencia, ponga en duda la resistencia del sistema de amarre instalado.
- En el caso de que una parte de las maquinillas del buque se encuentren inoperativas en el momento de la alerta.
- Cuando el temporal provoque un corte en el suministro eléctrico.
- Cuando el armador solicite la renovación de las gazas de las amarras.

La disparidad de las situaciones mencionadas hace necesario su estudio individualizado que será tratado en las secciones siguientes.

8.2 ESTUDIO DINÁMICO DE ROTURA DE AMARRAS

A pesar de que en el capítulo 4 hemos realizado un estudio histórico para establecer las peores condiciones a las que pueden verse sometidos los buques que se encuentran reparando en nuestras instalaciones, no podemos descartar la posibilidad de que la alerta anuncie vientos mayores que los tenidos en cuenta en nuestras premisas.

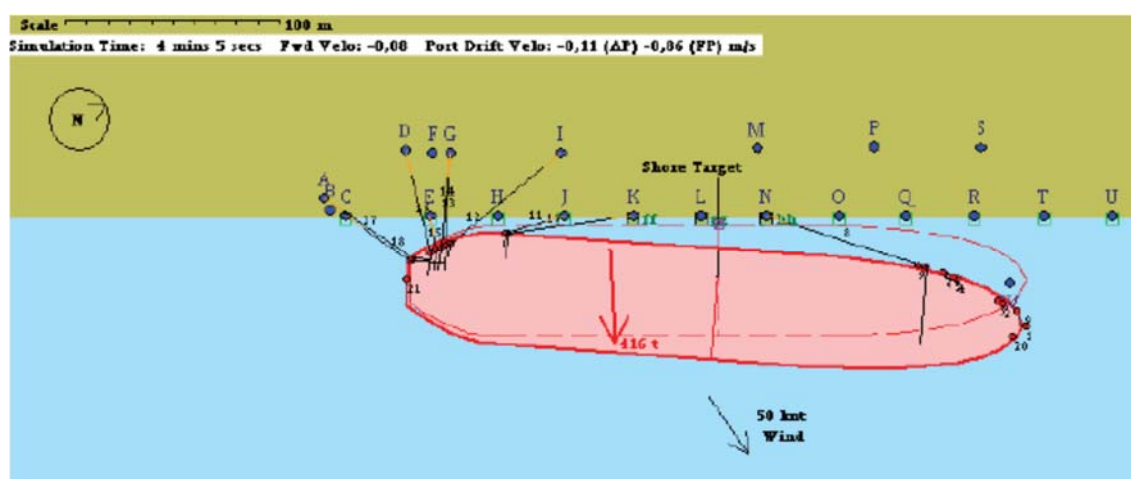


Figura 8.1 Imagen del buque LNG NEVA RIVER faltando sus traveses de proa (disponible en Anexo 8.1). Fuente: Estudio dinámico PROES

La dirección de NRFF, consciente de su importancia, encargó en el año 2010 un estudio de la evolución de un buque gasero de gran tamaño considerando que las fuerzas originadas por la acción del viento son de tal magnitud que provocan la rotura secuencial de las amarras. Dicho estudio consistió en la

simulación por ordenador con la ayuda del módulo dinámico del programa OPTIMOOR v. 6.0.6, de *Tension Technology International*, que puede consultarse íntegramente en el Anexo 8.1.

Las condiciones de partida consideradas han sido las siguientes:

- Buque: LNG *NEVA RIVER*, que corresponde al mayor tamaño que puede ser varado en las instalaciones de NRFF debido a su manga (49,1 metros).
- Instalación de amarre: Muelle 14 de Ferrol, el de mayor índice de criticidad (véase figura 6.45), sin contar con uno de los nuevos norayes de través de proa, que fue montado posteriormente a este estudio.
- Líneas de amarre: 18 amarras propias del buque, sin montar ninguna de refuerzo del Astillero.

Bajo esta disposición inicial, se han considerado las siguientes variables:

- Condiciones meteorológicas: Rachas de viento de 130 km/h., suponiendo tres direcciones de procedencia distintas dentro del sector de riesgo identificado en el estudio histórico realizado en este trabajo (véase figura 4.24):
 - ✓ Dirección SO (222°);
 - ✓ Dirección OSO (260°);
 - ✓ Dirección ONO (285°).
- Uso de remolcadores trabajando de carnero para ayudar a la resistencia del sistema de amarras, considerando tres potencias de empuje diferentes:
 - ✓ 32 tons.
 - ✓ 50 tons.
 - ✓ 100 tons.
 - ✓ 150 tons.
- Funcionamiento correcto o incorrecto del arriado de los carreteles de las amarras al 60% de su MBL.
- Utilización de amarras en *stand-by* dispuestas a la pendura, afirmadas a elementos del buque dotados de alta resistencia (“*strong points*”), tales como el remolque de emergencia con el fin de sujetar el mismo tras la rotura total del sistema.
- Fondeo de un ancla para trabajar de forma similar al caso expuesto anteriormente.

De la combinación de estos supuestos se han obtenido un total de 52 casos de estudio diferentes, de cuyo análisis detallado se derivaron las siguientes conclusiones:

1. El correcto funcionamiento del sistema de largado de las maquinillas al 60% de la carga de rotura de la amarra supone un factor fundamental en la resistencia total del sistema. Prueba de ello reside en la comparativa entre los casos 18 y 19 en los que, frente a las mismas condiciones

de viento (OSO), cuando los frenos funcionan adecuadamente el sistema supone un amarre seguro, mientras que se rompe cuando aquellos no son efectivos.

2. El uso de remolcadores trabajando de carnero para ayudar al sistema no es un método eficaz, especialmente si la potencia de empuje de los mismos no llega a 100 toneladas (equivalente a la resistencia de una de las amarras de través). En este sentido es necesario destacar que la potencia máxima de cualquiera de los cinco remolcadores disponibles en el Puerto de Ferrol es menor de 75 toneladas de tracción a punto fijo (más conocido como “*bollard pull*”).

En consecuencia, las medidas preventivas deben de ir encaminadas a reforzar en lo posible el sistema de amarre más que hacia la previsión de disponibilidad de unidades de remolque. Sin embargo, un remolcador con un cabo de remolque firme al buque en *stand-by* y listo para emplear el método de asistencia de remolque portuario similar al conocido como empujar – tirar (“*push-pull*”) pudiera ser un factor clave ante la rotura del sistema de amarre.

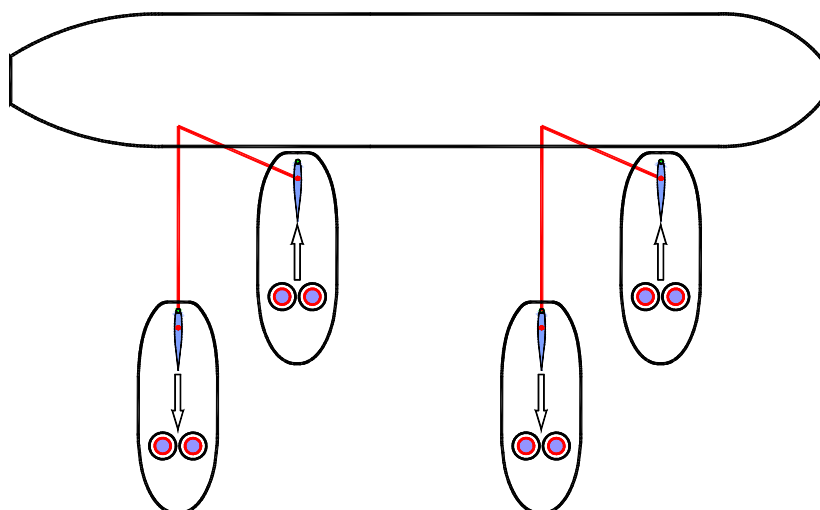


Figura 8.2 Esquemático de dos remolcadores Tractor Voith empleando el método push-pull en una maniobra de asistencia a un buque en puerto. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Por otro lado, desde el punto de vista legal, no cabe ninguna duda de que el mantenimiento de un remolcador en posición *stand-by* en aquellos barcos que se encuentren en las peores condiciones constituye una herramienta relevante en aras a evitar un accidente o minimizar sus consecuencias. Es destacable el párrafo “*tugs may be requested to hold the ship alongside up to wind speeds of 35 knots*” (OCIMF, 2008, p. 18), que muestra que esta decisión es una práctica habitual. Adicionalmente, esta estrategia contribuye a demostrar que el Astillero tiene implantado un sistema de gestión de la seguridad con un buen estándar que trata de minimizar los riesgos y afrontar debidamente situaciones de emergencia; algo que también tiene importancia en el ámbito de las responsabilidades que potencialmente puedan derivarse de pleitos en los que se diriman supuestos de reclamación de daños.

1. Tampoco constituye una buena práctica marinera desplegar cabos de alta resistencia a la “pendura”, ya que la inercia del buque una vez que ha roto amarras es de tal magnitud que no son capaces de evitar que también falten al someterlos a esas tensiones repentinas, muy por encima de sus respectivos MBL, dejando consecuentemente de igual modo el buque a la deriva.
2. Debido al reducido calado existente en los muelles de la Ría, el fondeo del ancla se muestra impracticable por el hecho de que, de acuerdo a la teoría que estudia su rendimiento, se habrían de largar al menos ocho grilletes con el fin de que el ramal de cadena más próximo al arganeo del ancla descansase sobre el fondo. Es por esta razón de base empírica que constituye una regla básica de buena práctica marinera por la que no se coincide en este punto con el estudio de PROES, que considera como efectivo este método.

8.3 PUNTOS DE AMARRE ESPECIALES

En el caso de que exista un riesgo importante de que el sistema de amarre propio del buque no sea capaz de soportar las fuerzas inducidas por la acción del viento debido a la magnitud prevista en la alerta o cuando todas o parte de las maquinillas estén desmontadas siguiendo los trabajos propios de la reparación, pudiera ser necesario el uso de ciertos elementos de amarre especiales disponibles a bordo de los buques modernos para complementar una disposición capaz de hacer frente a las condiciones anunciadas.

La posibilidad de utilización de las grúas de los muelles permite el tendido y tensado de líneas de alta resistencia en disposición sencilla o doble que pudieran suplir la falta de elementos de amarre o suplementar la resistencia total del sistema.

Por este motivo, se ha considerado interesante el estudio particularizado de los elementos que se describen a continuación en sub-apartados:

8.3.1 REMOLQUE DE EMERGENCIA DE POPA

La Regulación V/15-1 de la Convención *SOLAS*¹¹⁴ de 1974, enmendada por la Resolución MSC¹¹⁵ 35(63) en 1994, establece que los buques tanque mayores de veinte mil toneladas de peso muerto irán provistos de un sistema de remolque de emergencia en cada uno de los extremos del buque con el fin de hacer más segura y rápida la conexión a un remolcador, por medio de un cable o estacha de remolque, aun cuando la planta eléctrica del buque no se encuentre operativa.

En el accidente del *Amoco Cádiz* se dio la circunstancia de que el remolcador que llegó a prestar auxilio tuvo una gran dificultad para tomar el remolque y, una vez hecho firme, la bita del buque no soportó la tensión generada por este. Este suceso indujo una mejora en estos sistemas, de forma que, en la

¹¹⁴ *Safety Of Life At Sea* (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar).

¹¹⁵ *Maritime Safety Comitee* (Comité de Seguridad Marítima).

actualidad, el remolque de popa, también conocido como “*pull-back*”, debe estar listo para ser usado en condiciones de puerto en quince minutos como máximo, siguiendo un procedimiento específico para su disposición (Solás, MSC 256 (84)).

El dimensionamiento mínimo de la línea de remolque de un buque está determinado por su Sociedad de Clasificación y se calcula a partir de su número de equipo (EN), obtenido de acuerdo a la relación (8.1)

$$EN = \Delta_v^{\frac{2}{3}} + 2Bh_T + \frac{A_v}{10} \quad (8.1)$$

donde:

- Δ_v es el desplazamiento en calado de verano en toneladas métricas
- B es la manga del buque en metros
- h_T es la suma de las alturas correspondientes al francobordo de verano y todas aquellas cubiertas de la superestructura del buque cuya manga supere un cuarto de la total, en metros.
- A_v es la superficie transversal de exposición al viento en calado de verano en metros cuadrados.

Una vez conocido el número de equipo, tanto la longitud de las líneas de remolque como su resistencia vienen definidas en una tabla de valores. En el Anexo 8.2 se encuentra disponible la guía de referencia de acuerdo a las normas del *Bureau Veritas*.

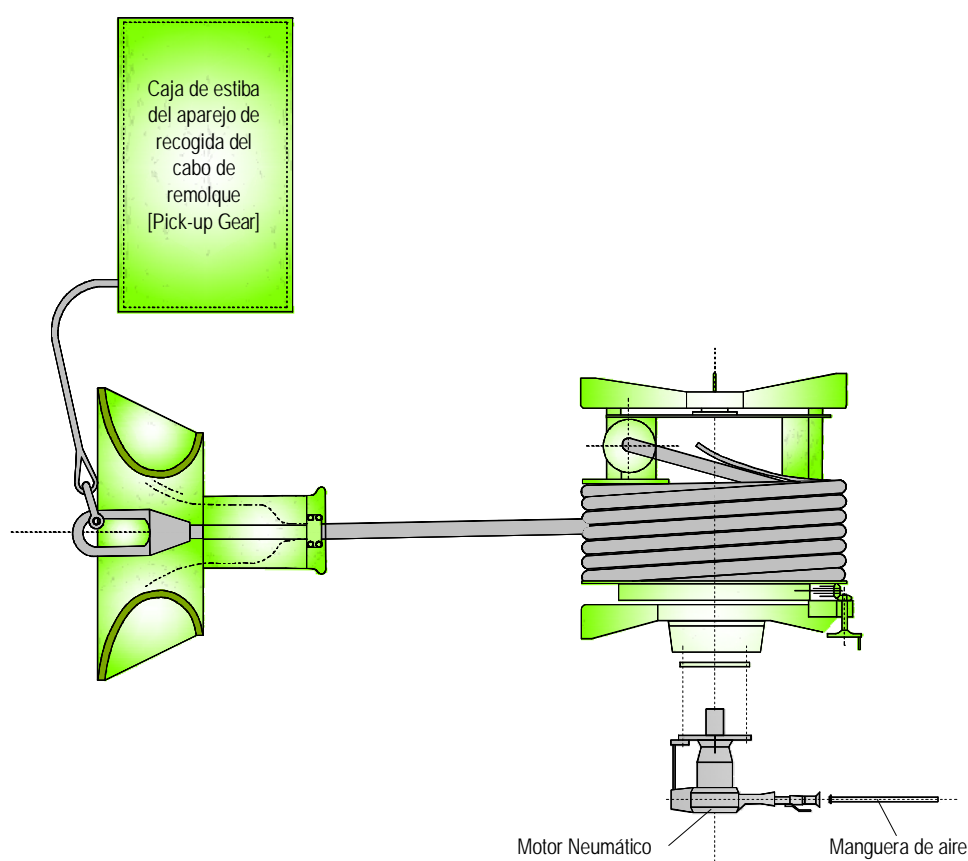


Figura 8.3 Disposición del remolque de emergencia de popa. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

La línea de remolque de emergencia de popa (figura 8.3) está compuesta por los siguientes elementos:

- Cable de remolque principal fabricado en acero, cuya resistencia, para buques mayores de cincuenta mil toneladas de peso muerto ha de ser superior a doscientas toneladas de carga de trabajo, utilizando para su diseño un coeficiente de seguridad de 2, debiendo de estibarse en un carretel instalado sobre la cubierta de maniobra o bajo la misma, en el techo del local del servomotor con sistema de recogida con el fin de despejar la zona de maniobra. La longitud de la línea de remolque principal ha de ser, como mínimo, igual al doble de la altura de la guía con respecto al nivel del agua, en la condición de lastre más cincuenta metros.
- Una línea de conexión con el remolcador (“*towline*”), definida por el número de equipo (por ejemplo, para un numeral de 5000, se requieren 300 metros de longitud y 147 toneladas de carga de rotura.
- Cabo guía montado en el extremo final de 24 mm de diámetro y 30 m de longitud, dispuesto con una o varias boyas con luz para facilitar su localización.

Sistemas de última generación utilizan cabos sintéticos adujados dentro de un contenedor que les protege de la acción del ambiente salino, cumpliendo simultáneamente los requerimientos de remolque de emergencia y sujeción para el remolcador de escolta. En este caso, la conexión al punto fijo del buque se realiza por medio de una cadena de sacrificio (“*chafing chain*”) para prevenir el deterioro de la amarra por rozamiento, lo que generaría abrasión.

8.3.2 SUJECCIÓN DE REMOLCADOR DE ESCOLTA (POPA)

La capacidad de tracción a punto fijo de los remolcadores que asisten en las maniobras de entrada y salida de puerto ha sufrido en los últimos años un incremento considerable como respuesta al aumento de tamaño y, en consecuencia, de la fuerza que ejerce el viento sobre el buque que, en todas las fórmulas empíricas empleadas para su cálculo, es una función directa del cuadrado de su intensidad (de ahí la importancia de las rachas de viento) y de la superficie de obra muerta del buque expuesta al viento (“*windage*”), aspecto este último especialmente relevante en el caso de los buques gaseros, pudiendo alcanzar en algunos casos tracciones de hasta ciento cincuenta toneladas.

Como consecuencia de ello se han producido varios incidentes en los últimos años que han dado como resultado roturas estructurales de elementos convencionales de amarre donde estaba hecho firme el remolcador cuya resistencia era considerablemente menor.

Algunas terminales de descarga de gas, como en el caso de Isle of Grain en el Reino Unido, obligan a los armadores a la disposición de un punto de amarre específico en la popa que ha de tener una *MBL* de doscientas toneladas, para ser utilizada por el remolcador de escolta.

A petición de varios de sus clientes, *NRFF* ha realizado en el último trienio el diseño y montaje de una cantidad considerable de tales elementos fijos, comúnmente denominados “*strong points*”, formados por el conjunto de una guía y una bita, doble o sencilla. A modo de ejemplo, pueden consultarse en el Anexo 8.3 los planos aprobados por Bureau Veritas del sistema montado en el buque LNG *LAGOS*.

La guía se posiciona en el espejo de popa lo más a crujía posible y en las inmediaciones de donde esté ubicado el remolque de emergencia. Ha de tener unas dimensiones mínimas de 600 x 300 mm (OCIMF, 2008, p. 56) para permitir el tiro a 90° hacia ambos costados utilizando amarras sintéticas y respetando así su radio de curvatura mínimo.

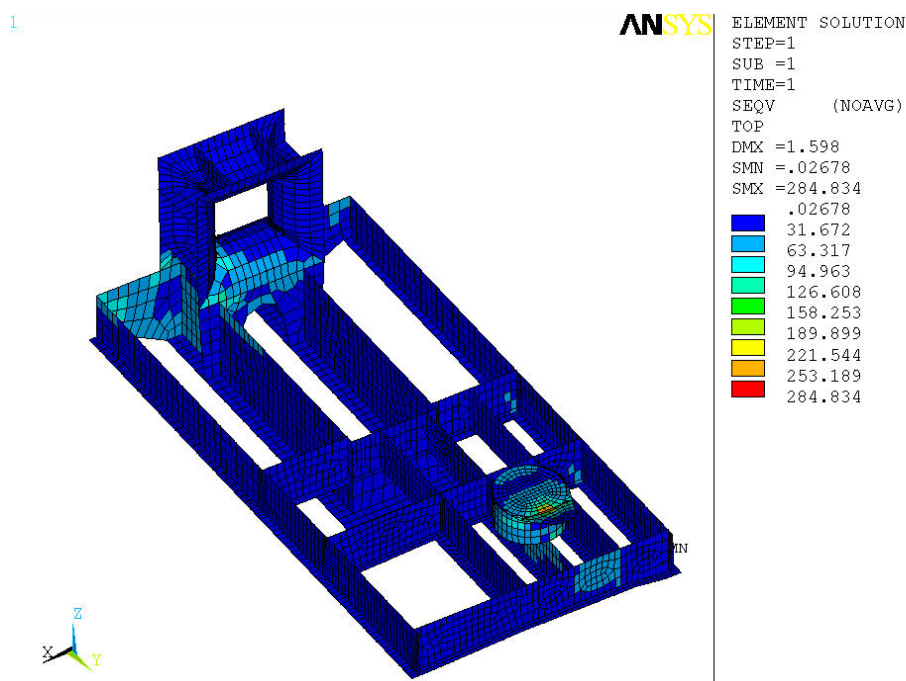


Figura 8.4 Tensiones inducidas en el “strong point” en cubierta de maniobra de popa del buque LNG LAGOS. Fuente: NRFF

Alineada con ella en sentido longitudinal, se instala una bita, de una resistencia de entre 200 y 300 toneladas que obliga a reforzar la cubierta y sus elementos estructurales. La distancia entre ambas es variable en función de la disposición de otros elementos existentes en la cubierta de maniobra obligando, en muchos casos a reposicionarlos, aunque la mínima recomendada es de cuatro metros (OCIMF, 2008, p. 55) para que permita el alojamiento completo a bordo de la gaza del remolque.

Una variante moderna de este sistema (“safety bitt”), comercializado por Bennmo Marine AB, incorpora dos tubos guía que permiten que el remolque pueda ser encapillado a bordo por una sola persona, según indica la figura 8.5.

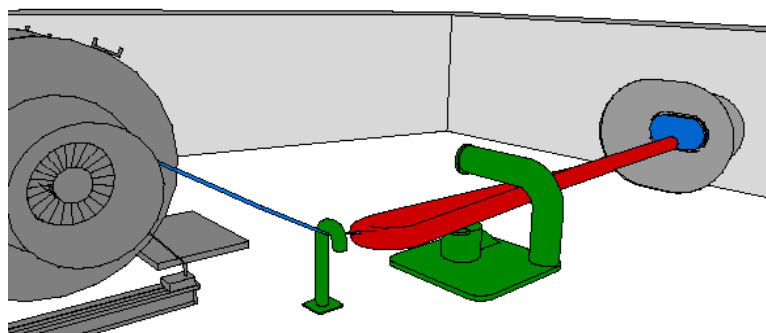


Figura 8.5 Esquemático de la disposición de “Safety bitt” (disponible en <http://www.safetybitt.com>)

8.3.3 PUNTOS DE AMARRE PARA EL REMOLCADOR DE PUERTO

Son aquellos diseñados para permitir el tiro de un remolcador de asistencia en las maniobras de puerto. Están formados por el conjunto de una bita, una guía y un sistema para cobrar la amarra, que puede consistir en el uso de las maquinillas propias del buque con la ayuda de bitas o guías intermedias o a través de un virador específico.

Están uniformemente distribuidos en el área donde el buque tiene costados paralelos y en toda su eslora, separados entre 50 y 60 metros y en las proximidades de las zonas reforzadas del casco designadas para resistir sin daño las fuerzas generadas por el empuje de remolcadores, en ambos costados, con el fin de permitir la realización de la doble función de tiro y empuje de estos.

En el caso de buques mayores de cincuenta mil toneladas de peso muerto, poseen una resistencia de trabajo mayor de noventa y dos toneladas (OCIMF, 2008, p.61) y han de estar diseñados para trabajar dentro de un sector de hasta 180° en el plano horizontal y de 90° en el vertical, lo que permite su configuración como puntos de amarre seguros para encapillar una estacha de un buque moderno.

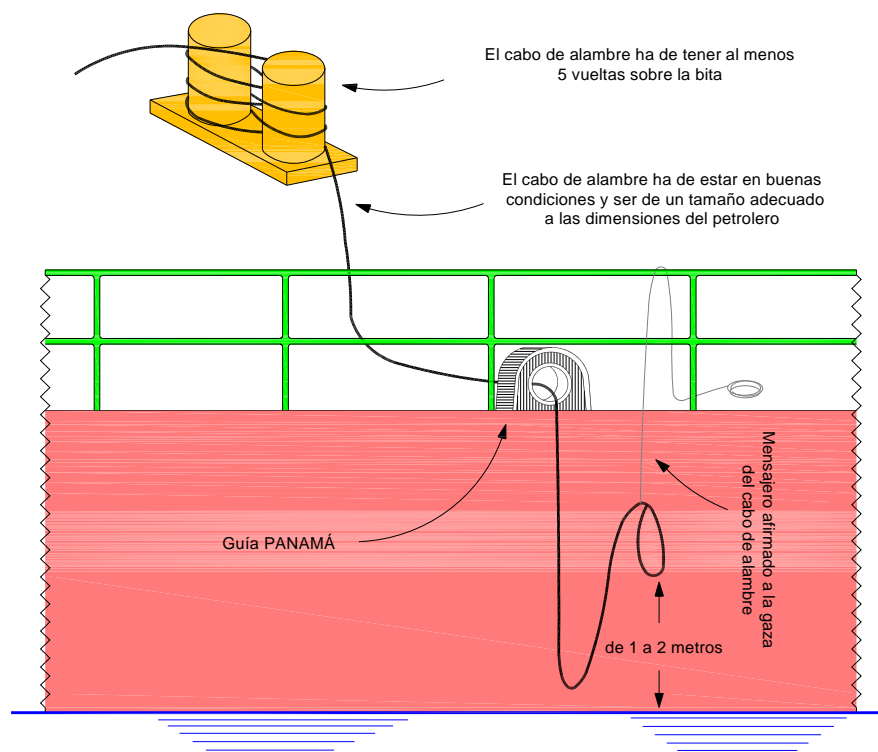


Figura 8.6 Requerimientos típicos para la disposición de un alambre para remolque de emergencia (algunas terminales exigen métodos diferentes al de la figura y los operadores deben de conocer las reglamentaciones locales en este sentido). Fuente: Mooring Equipment Guidelines (OCIMF, 2008, pp. 65-67). Dibujo: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Muchas terminales exigen los denominados cabos de alambre para remolque de emergencia “fire-wires”, “towing-off wires”, o “emergency towing-off pennants”. Son cabos de alambre tendidos por el costado opuesto a la banda de atraque del buque con el fin de hacer posible que los remolcadores tiren del buque para separarlo del muelle “to pull the ship away from the pier” sin necesidad de asistencia de

ningún miembro de la tripulación del buque en el caso de que se produzca un fuego o explosión a bordo de carácter grave.

Cuando se exige la disposición de cabos de remolque de emergencia, un método común es suministrar dos alambres, en las proximidades de la amura y de la popa respectivamente, los cuales se hacen firme a sendas bitas de amarre con un mínimo de cinco vueltas y se llevan directamente a otras tantas guías panamá sin dejar seno de alambre en cubierta entre la bita y la guía panamá. El chicote del alambre finaliza en una gaza a la cual se hace firme un mensajero cuyo chicote se deja en cubierta afirmado a una cornamusa. El otro extremo del cabo de alambre también finaliza en una gaza que se pasa por uno de los pedestales de la bita antes de darle vueltas en forma de ocho en torno a la misma. Durante la carga o descarga del buque, se ajusta periódicamente cuando resulta necesario tanto el cabo de alambre del remolque de emergencia como la longitud del mensajero sobre el costado con el objeto de mantener la gaza del alambre entre uno y dos metros por encima de la línea de flotación tal como se puede apreciar en la figura 8.7.



Figura 8.7 Disposición del alambre de proa para remolque de emergencia del petrolero “CONSTITUTION”. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

Si se exige la disposición de cabos de remolque de emergencia estando el buque amarrado a una monoboya (SPM), estos se dispondrán por la banda opuesta a la que está tendida la hilera de mangueras. Cuando no están empleándose, los alambres se estiban en *carreteles* que pueden estar ubicados en o debajo de la cubierta principal.

Los cabos de alambre para el remolque de emergencia deben de tener la notación 6x36 IWRC¹¹⁶ y ser del mismo tipo de acero que el recomendado para los cabos de alambre estándar. No está permitido el empleo de cabos de fibra sintética o natural que no tengan las características apropiadas que les permitan

¹¹⁶ *Independent Wire Rope Core*. Alma metálica de un cabo de alambre consistente en un cordón formado por 7 alambres que le confiere mayor resistencia y menor elasticidad.

ser resistentes al fuego. Sin embargo, debe de considerarse el empleo de cabos de fibra sintética en el futuro si se fabrican con una resistencia al fuego adecuada. Su uso ayudará a superar las dificultades de manejo que a menudo se asocian con los cabos de alambre y en este caso y teniendo en cuenta el bajo coeficiente de fricción, puede resultar necesario que se le den más de cinco vueltas cuando se afirmen en torno a las bitas.

PESO MUERTO	MBL (tons)	Longitud (m)
Menos de 20000	30	25
20000-100000	55	45
100000-300000	100	60
Más de 300000	120	70

Figura 8.8 Cabos de remolque de emergencia: MBL y longitud recomendada en función del peso muerto del buque.
Fuente: OCIMF, 2008, p. 71

La tabla de la figura 8.8 nos ofrece una guía sobre las resistencias mínimas y las longitudes de varios tipos de buques. Sin embargo, esta última dimensión puede variar dependiendo de la posición de las bitas de amarre y del francobordo del buque.

Los cabos de alambre de emergencia no deben de hacerse firmes a aquellas bitas cuyo *SWL* sea menor que el *MBL* del cabo.



Figura 8.9 Imagen de dos bitas empotradas en el costado del buque LNG BRITISH TRADER. Fuente: Autor

En aquellos buques de gran francobordo, como es el caso de los gaseros, los puntos de amarre en cubierta de los cabos de remolque de puerto pueden verse sustituidos o complementados por bitas empotradas en sus costados que se hayan distribuidas a lo largo de su eslora y situadas cerca de los puntos de empuje de remolcadores, tal y como puede apreciarse en la imagen de la figura 8.9. En ocasiones, se encuentran posicionadas a dos alturas diferentes para permitir su uso de forma independiente y de acuerdo a la condición de carga.

Las bitas empotradas pueden conformar un refuerzo de excelentes características para su uso en puerto, ya que disminuyen en gran medida los ángulos verticales de las amarras de este tipo de buques y

habitualmente poseen una gran carga de trabajo (*SWL* entre 150 y 200 toneladas), aunque el mínimo recomendado para buques mayores de cincuenta mil toneladas de peso muerto sea de 92 toneladas.

8.3.4 PUNTOS DE AMARRE PARA LA DESCARGA BARCO A BARCO

Aquellos buques que tienen posibilidad de realizar la descarga en la mar a otro de menor tamaño (STS) van provistos de dos conjuntos bita-guía situados a proa y popa del *manifold* de estribor, a una distancia de treinta y cinco metros como máximo del centro del mismo, con el fin de encapillar o adujar las amarras de *spring* del buque que recibe la carga (los cabos de amarre en este tipo de maniobras los da el buque que maniobra, que normalmente es el más pequeño, y que se conoce con el término de “*service ship*” [SS]).

Con el fin de hacer firmes los largos, están obligados, adicionalmente, a disponer al menos de tres conjuntos bita-guía en popa y cuatro en proa, los cuales pueden coincidir con los utilizados para el amarre al muelle.

Aunque no existen especificaciones mínimas de resistencia para este fin, es habitual manejar valores similares a los usados para el propio amarre. La carga segura de trabajo (*SWL*) de cada elemento se encuentra claramente identificada de manera permanente.

8.3.5 REMOLQUE DE EMERGENCIA (PROA)

Comúnmente utilizado también para el amarre a la monoboya de carga (*SPM*), el remolque de emergencia de proa que, de acuerdo con el *SOLAS*, ha de poder desplegarse en menos de 1 hora, está formado por los siguientes elementos:

- Un dispositivo de zafado rápido (en ocasiones hidráulico) de un mínimo de 200 toneladas de carga de trabajo situado a una distancia de entre 2,7 y 3,7 metros a popa de la amura.
- Una cadena de sacrificio de setenta y seis milímetros de diámetro (“*chafing chain*”) y de una longitud suficiente para que sobresalga tres metros de la borda. El extremo de a bordo de esta cadena finaliza en un eslabón sin contrete para permitir el paso del bulón del dispositivo de zafado (cuando se trate del tipo “*smit bracket*”, como el de la figura 8.10). Sobre el extremo opuesto se monta un grillete desmontable.
- Una guía panamá de la misma resistencia que el punto fijo diseñada para trabajar dentro de un sector de 180° en el plano horizontal y 30° en el vertical y de unas dimensiones mínimas de 600 x 450 milímetros.
- Un cabo mensajero con la posibilidad de recuperación por medio de alguna de las maquinillas de proa. Los barcos construidos después del año 2009 han de prever este tiro en línea recta evitando así el uso de guías pedestal como medida de prevención de riesgos laborales.

Aquellos buques mayores de ciento cincuenta mil toneladas de peso muerto disponen de dos dispositivos idénticos montados en paralelo para su uso con monoboya.

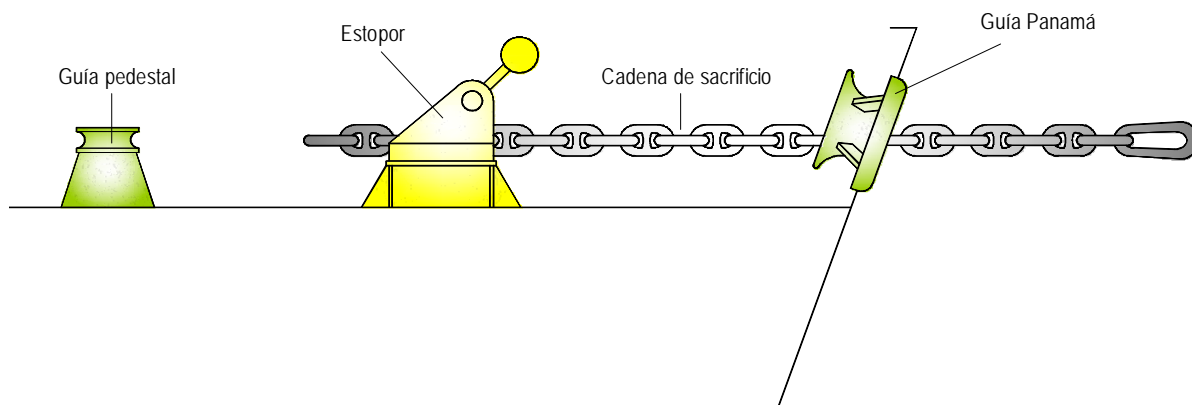


Figura 8.10 Disposición del remolque de emergencia de proa. Fuente: Santiago Iglesias Baniela (UDC)

8.3.6 CADENAS DE FONDEO

Tal como se ha concluido en el estudio dinámico, el fondeo del ancla no es apropiado para mantener el buque en las proximidades del atraque. Sin embargo, no parece sensato ni oportuno descartar su empleo en caso de emergencia.

Con la ayuda de las grúas de los muelles, llevar el ancla a tierra es una operación relativamente sencilla. Una vez allí, existe la posibilidad de dar una vuelta de cadena en torno a uno o dos norayes y afirmar ésta con un grillete desmontable o con un grillete de unión propio (“*kenter*”). La cadena puede tensarse utilizando el molinete y posteriormente hacerse firme con el estopor.

Una antigua práctica utilizada en buques con medios escasos de amarre y estancias prolongadas en puerto, consistía en abrir el último eslabón desmontable con el fin de independizar el ancla de su cadena y encapillar ésta a un noray, cerrando la gaza con el propio eslabón.

Al igual que las líneas de remolque, el dimensionamiento de la cadena del ancla es función del número de equipo del buque (*EN*). En el Anexo 8.4 pueden consultarse las tablas editadas por la “*International Association of Classification Societies*” (en adelante *IACS*) que definen, en función de dicho numeral, el diámetro de la cadena a utilizar, el material empleado en su fabricación (grado 1, 2 o 3), su longitud y el peso del ancla.

En la gama de tamaño de buques gaseros que estamos tratando, es habitual el montaje de cadenas de grado 3 con un diámetro de 90 a 100 mm, lo que supone una carga de prueba superior a 400 tons y una carga de rotura alrededor de 600 tons, capaz de soportar sobradamente las fuerzas debidas a la acción del viento transversal a una velocidad de 130 km/h en la proa sin la ayuda de ninguna otra amarra.

8.4 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE EMERGENCIA

El paso de un temporal o borrasca causa frecuentemente importantes averías en la red de suministro eléctrico que afectan tanto a viviendas particulares como a las instalaciones industriales. La situación más destacable de los últimos años se registró en enero de 2009 tras el paso del huracán *Klauss* que, debido fundamentalmente a la caída de árboles, dañó un total de 78 líneas del tendido eléctrico

impidiendo el suministro a cien mil hogares gallegos, que en algunos casos no pudo restablecerse hasta siete días más tarde, viéndose especialmente afectada la comarca de Ferrol. Esta situación trajo como consecuencia el hecho de que algunos ayuntamientos de la zona se vieran obligados a alquilar generadores eléctricos para hacer sostenible una situación que se prolongó durante días.



Figura 8.11 Imagen de una de las seis torres propiedad de la Red Eléctrica de España derribadas por el temporal de viento en enero de 2009 en la comarca del Deza (centro de Galicia). Fuente: Diario El País, disponible en: <http://ep01.epimg.net/diario/imagenes/2009>

Son también dignos de mención tanto el paso del huracán *Gordon* en enero del 2006 como el *Flora* en enero del 2010, que provocaron también numerosos cortes de energía eléctrica.

Las consecuencias de la interrupción del suministro eléctrico en la actividad de reparación de buques pueden ser muy diversas, extendiéndose desde los problemas preventivos inducidos hasta los puramente económicos. Podemos destacar las siguientes:

- La falta de disponibilidad de servicios vitales, tales como la red contra-incendios o el reachique de los diques.
- La parada de los medios de producción que obligan a la detención de actividades provocando cuantiosas pérdidas económicas.
- Un importante riesgo de incumplimiento de los contratos de reparación de los buques que se encuentren en el Astillero que, aunque el motivo de fuerza mayor pueda aminorarlos, repercutirán finalmente en el cliente induciéndole una pérdida económica y provocando consecuentemente un deterioro en la imagen de Navantia que pudiera tener consecuencias en lo que atañe a las futuras relaciones comerciales con el armador afectado.

En esta sección trataremos de evaluar los riesgos derivados de la falta de energía eléctrica así como de establecer las acciones oportunas para aminorarlos. Para ello seguiremos el esquema descrito a continuación:

1. Estudiaremos los sistemas eléctricos actuales tanto en el centro de Fene como en el de Ferrol.

2. Identificaremos los servicios de emergencia necesarios, estableciendo su voltaje y frecuencia y cuantificando su potencia.
3. Evaluaremos las opciones alternativas de suministro en los sistemas actuales así como la disposición de los generadores necesarios, tanto propios como de alquiler.
4. Estableceremos prioridades para las acciones a tomar.
5. Estudiaremos cómo conectar los generadores a la red de suministro.

8.4.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS ACTUALES

Como se ha indicado anteriormente, Navantia Ría de Ferrol agrupa en la actualidad los antiguos astilleros de Bazán y Astano, en los centros de Ferrol y Fene respectivamente. Este hecho, unido a que ambos fueron construidos en épocas distintas y pertenecen a dos ayuntamientos diferentes, hace que la red eléctrica de ambos sea totalmente independiente. Es por ello que, no existiendo apenas similitudes entre ambos, deviene necesario su estudio por separado.

8.4.1.1 *Distribución eléctrica en el centro de Ferrol*

El sistema de distribución en este centro posee una alta complejidad, tal y como refleja el esquema eléctrico unifilar contenido en el Anexo 8.5. Esto se debe fundamentalmente a las sucesivas ampliaciones derivadas del incremento de demanda de potencia generado tanto por la modernización de las instalaciones de tierra como por la evolución de los buques hacia un mayor consumo.

La toma principal de energía en esta instalación es única, tal y como muestra el diagrama simplificado de la figura 8.12, y procede de la subestación de 132 kV situada en el barrio ferrolano de Caranza. Desde allí, dos transformadores ubicados en la misma central reducen el nivel de tensión a 15 kV, independizando dos circuitos con posibilidad de interconexión. El primero de ellos, denominado Arsenal, alimenta la mitad oeste de las instalaciones, mientras que el segundo, Astillero, es el encargado del suministro de la mitad este, de más reciente creación.

Ciertos servicios del Departamento de Reparaciones, tales como la Subcentral nº 1 del dique no. 3, pueden alimentarse desde ambos circuitos permitiendo de esta forma la continuidad del suministro en caso de fallo de uno de los dos transformadores de 132/15 kV o su conmutación ante la posible sobrecarga de alguna de las dos líneas independientes (Anexo 8.5, Esquema unifilar, p.2).

La alimentación de 15 kV, 50 Hz no es utilizada directamente por ningún consumidor, sino que ha de ser convertida a las siguientes tensiones y frecuencias:

- **440 V, 60 Hz** para la denominada “*energía a buques*” que sirve de alimentación a la inmensa mayoría de los sistemas propios de los barcos en reparación.
- **400 V, 50 Hz** para alimentación a talleres, grúas, compresores de aire y, en general, a la mayoría de maquinaria que sirve de auxilio a la Producción, incluyendo los servicios a buques (máquinas de soldar y herramientas manuales).

- **230 V, 50 Hz** para alumbrado y oficinas. La alimentación a buques para los trabajos habituales se hace a través de transformadores independientes de la red, partiendo de 400 V, 50 Hz.
- **5 kV, 50 Hz** para alimentar a las bombas de achique del dique no. 2.
- **6 kV, 50 Hz** para el funcionamiento de las bombas de achique del dique no. 3.

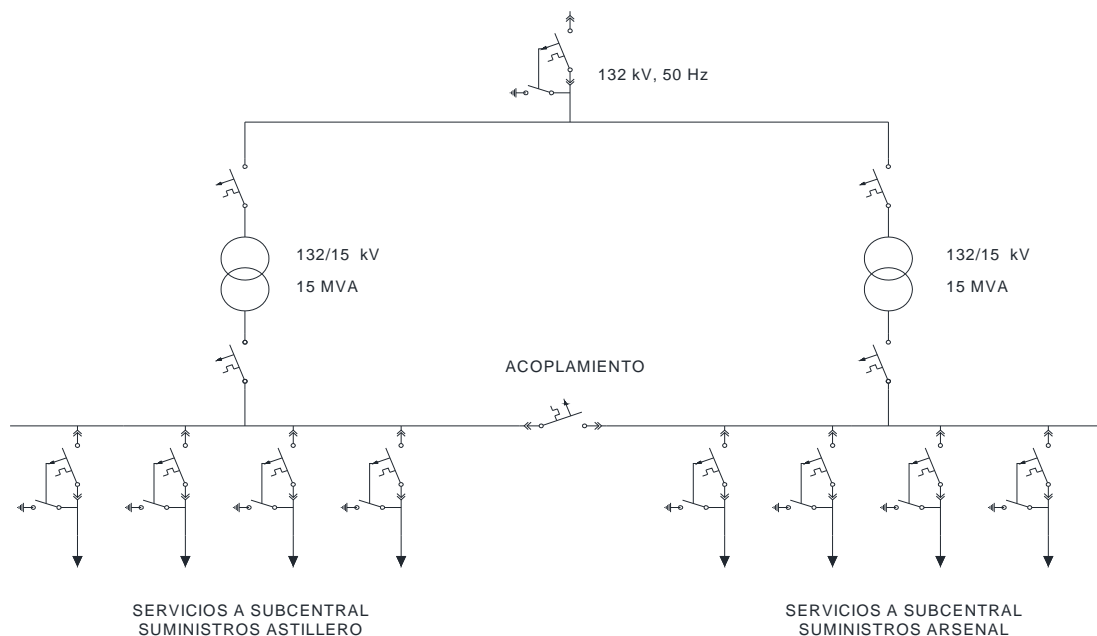


Figura 8.12 Esquema simplificado de la subestación de 132 kV de Caranza. Fuente: Autor

El suministro de energía a buques (440 V, 60 Hz), como puede observarse en la figura 8.13, procede de dos fuentes independientes:

- Dos convertidores dinámicos, compuestos por sendos motores eléctricos de 2200 kW alimentados a 6 kV, 50 Hz acoplados a generadores de 2500 kVA, 60 Hz que suministran energía a la mayoría de las instalaciones de Navantia, entre los que están incluidos ambos diques. La alimentación se recibe de forma directa desde la subestación de 15 kV.
- Dos convertidores estáticos de 1500 kVA cada uno que se encuentran alimentados desde de las barras de suministro de Arsenal a través de un transformador en la entrada que reduce la tensión a 420 V. La tensión de salida (400 V, 60 Hz) es elevada a 6 kV por medio de un segundo transformador. Estos convertidores componen el suministro básico a los muelles habitualmente ocupados por la Armada, así como los muelles 9, 11 y 12, utilizados con asiduidad para labores de reparación.

Los cuatro convertidores alimentan otras tantas barras, con posibilidad de conexión dos a dos, que aseguran el suministro en caso de fallo de alguno de ellos. Los transformadores situados a pie de muelle reducen la tensión de 6 kV a 440 V.

Existe un quinto convertidor que alimenta directamente las instalaciones del dique 3 que se encuentra fuera de servicio desde hace años, por lo que no ha sido reflejado en este esquema, aunque sí se contempla en los diagramas del Anexo 8.5.

Las bombas de achique de los diques, debido a su gran consumo eléctrico, utilizan tensiones más elevadas (5000 V para el dique 2 y 6000 V para el dique 3) y se alimentan de forma independiente (véase figura 8.14):

- Dique 2: desde la subcentral Arsenal.
- Dique 3: Tiene posibilidad de hacerlo desde Arsenal o desde Astillero.

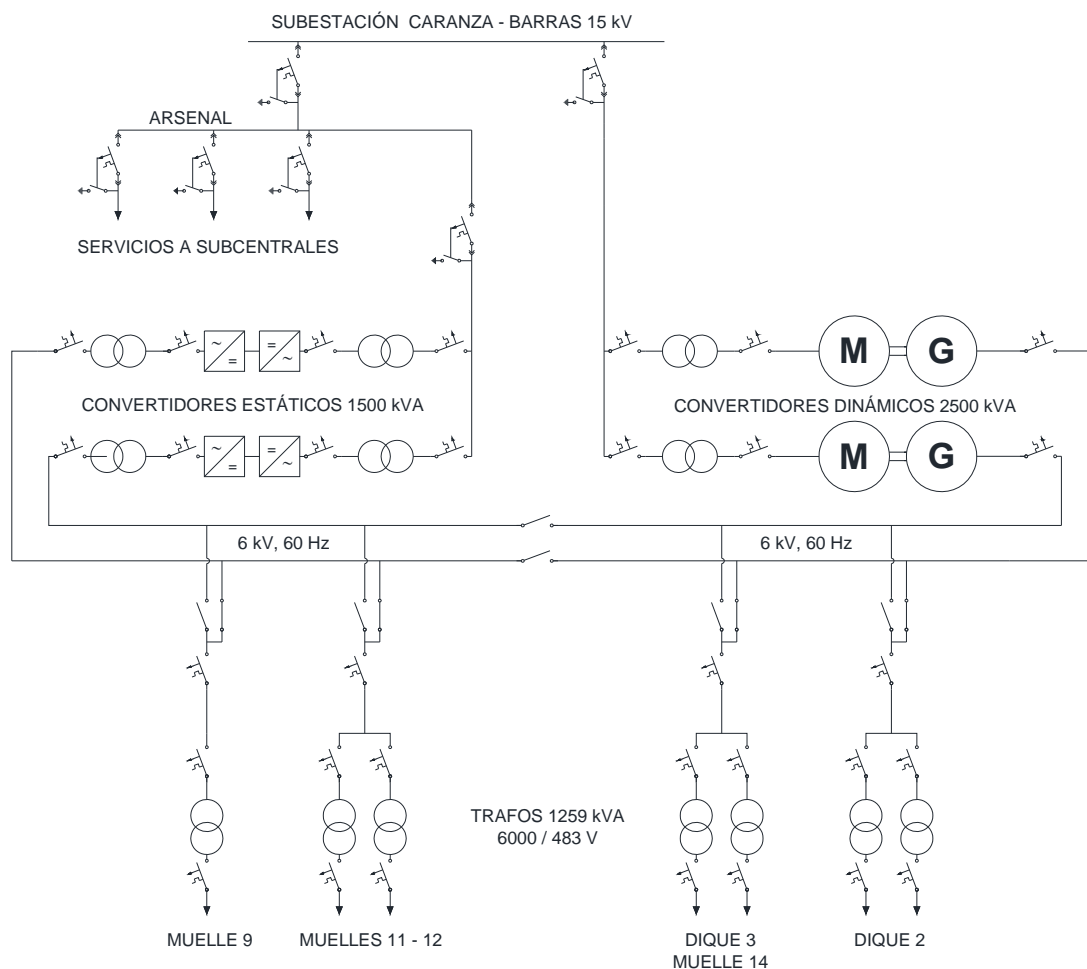


Figura 8.13 Esquemático alimentaciones 440 V / 60 Hz a instalaciones de Reparaciones. Fuente: Autor

La subcentral número 1 del dique 3, responsable del principal suministro de 400 V y 220 V, 50 Hz por agrupar los servicios al propio dique y del muelle 14, tiene la posibilidad de ser alimentada desde Astillero o Arsenal, circunstancia que es aprovechada para repartir la carga de ambas (véase figura 8.15). La mencionada subcentral, que trabaja a 15 kV, 50 Hz, alimenta a su vez a las número 2 y 3, responsables del suministro eléctrico del costado de estribor del dique 3 junto con el muelle 14 y del costado de babor, respectivamente. Estas últimas son estaciones de transformación de 15 kV a 400 V y 220 V, dando

tensión a los cuadros dispuestos en el muelle y dique, separados entre 20 y 30 metros entre sí y que cumplen fundamentalmente las siguientes funciones:

- Alimentación de grúas;
- Compresores portátiles de aire para chorreado y pintado;
- Servicios a bordo para máquinas de soldar, ventilación, deshumidificación, etc.;
- Talleres y oficinas;
- Bombas de contraincendios y reachique;
- Alumbrado exterior;
- Cualquier otra maquinaria auxiliar.

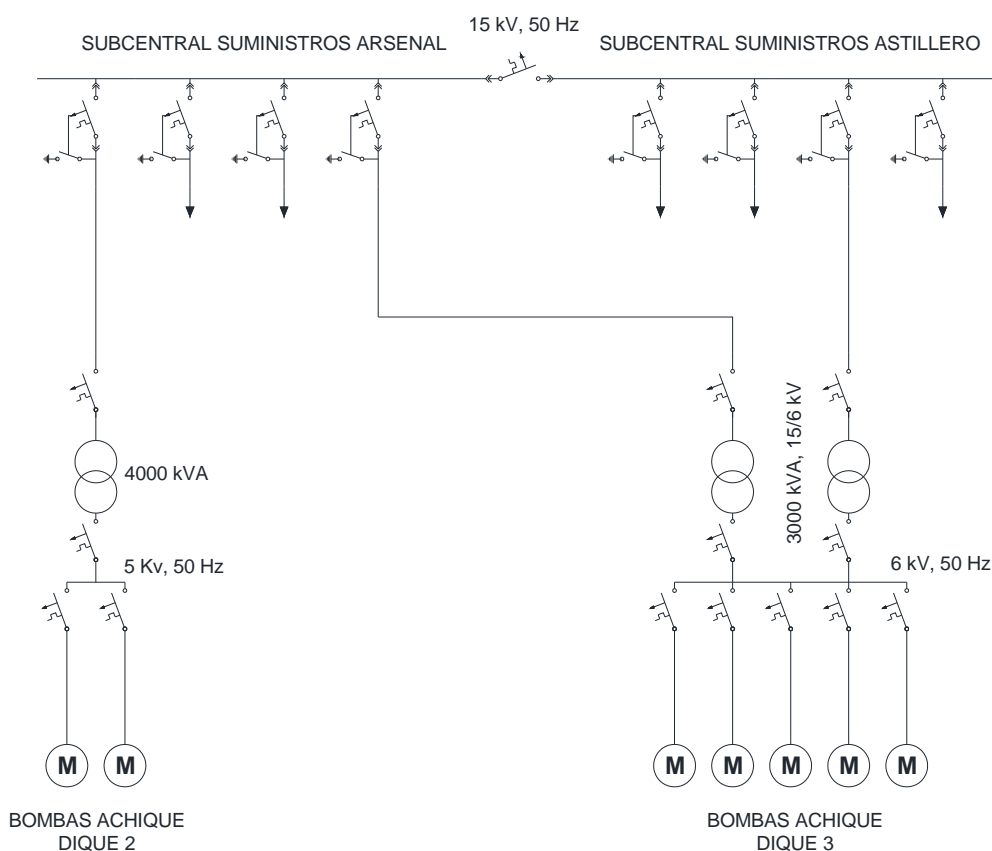


Figura 8.14 Esquemático de las alimentaciones de las bombas de achique de los diques 2 y 3. Fuente: Autor

Los mismos servicios, aunque con menores potencias, son suministrados por la subcentral del dique 2, que agrupa también la alimentación al taller mecánico.

Los esquemas mencionados dan una idea de la complejidad de la distribución eléctrica en el centro de Ferrol que trataremos de resumir en el cuadro de la figura 8.16, indicando las distintas alimentaciones utilizadas en los diferentes puntos de trabajo de las instalaciones dedicadas a las reparaciones de buques, así como la procedencia de éstas, bien sea desde la subcentral Astillero o Arsenal. Sus detalles de conexión pueden consultarse en el Anexo 8.5.

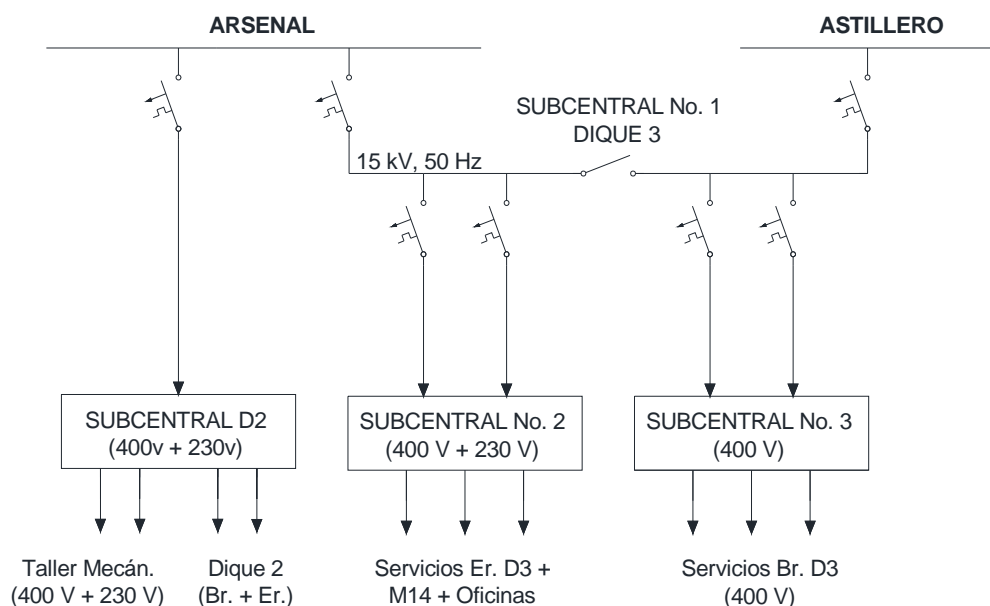


Figura 8.15 Representación esquemática de las alimentaciones de 440 V y 220V, 50 Hz a los diques de Ferrol y muelle 14. Fuente: Autor

	6 kV, 50 Hz	400 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	440 V, 60 Hz	5 kV, 50 Hz	PROCEDENCIA
DIQUE 2	–	SUBCENTRAL DIQUE 2	SUBCENTRAL DIQUE 2	PUESTO K DIQUE 2	C. BOMBAS DIQUE 2	ARSENAL
DIQUE 3	CÁMARA BBAS. D3	SUBC. No. 1, 2 y 3 DIQUE 3	SUBCENTRAL No. 1 D3	PUESTO D	–	ARS/AST.
MUELLE 14	–	SUBCENTRAL No. 2 D3	–	PUESTO D	–	ARS/AST.
MUELLE 9	–	SUBCENTRAL ESTE	SUBCENTRAL ESTE	PUESTO L	–	ARSENAL
MUELLE 11	–	SUCENTRAL ESPIGÓN	SUCENTRAL ESPIGÓN	PUESTO E	–	ARSENAL
MUELLE 12	–	SUCENTRAL ESPIGÓN	SUCENTRAL ESPIGÓN	PUESTO E	–	ARSENAL
OFICINAS + TALLERES	–	SUBCENTRAL No. 2 D3	SUBCENTRAL No. 2 D3	–	–	ARS/AST.

Figura 8.16 Cuadro de alimentaciones de diques y muelles del centro de Ferrol. Fuente: Autor

El cuadro de referencia refleja la dificultad de suplir las alimentaciones actuales con generadores autónomos, debido a la gran variedad de tensiones y frecuencias utilizadas.

8.4.1.2 Distribución eléctrica en el centro de Fene

Por el hecho de tratarse de una instalación más moderna y que en la actualidad se asemeja en gran medida a las condiciones de diseño, la distribución eléctrica en el centro de Fene es más racional que la vista en Ferrol.

Asimismo, posee dos cualidades especiales que hacen que el suministro eléctrico sea más seguro:

1. Recibe dos acometidas independientes, una de ellas a 132 kV, que llega al cuadro de interconexión de la parte de las instalaciones dedicada a las nuevas construcciones (Factoría Naval) y la otra, a 15 kV, a través de las instalaciones de la Fábrica de Turbinas en este centro.
2. Posee una planta de cogeneración, que actualmente no aporta energía a la red aunque se encuentra mantenida adecuadamente para el suministro de emergencia en caso necesario.

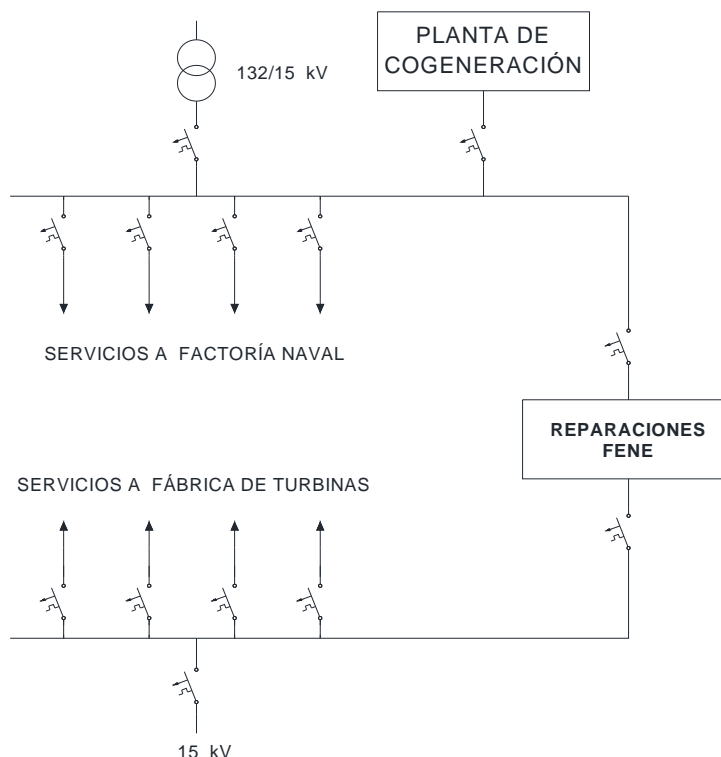


Figura 8.17 Esquemático general del centro de Navantia Fene. Fuente: Autor

La figura 8.17 muestra de forma esquemática las tres posibilidades de suministro eléctrico que posee el centro de Fene y que se reciben en la unidad de Reparaciones por dos líneas de alimentación independientes (Factoría Naval y Fábrica de Turbinas). La línea habitual de suministro es la primera, mientras que la segunda de ellas se mantiene en situación de alta con la compañía eléctrica de distribución para su uso en caso necesario.

Cada una de estas acometidas llega a Reparaciones Fene hasta dos centrales independientes (proa dique 5 y dique 4, respectivamente), interconectadas entre sí por dos líneas dispuestas en paralelo que aseguran la continuidad de suministro en cada de fallo de cualquiera de ellas. La central de popa del dique 5 se alimenta desde la de proa, tal y como muestra la figura 8.18.

De la misma forma que en el centro de Ferrol, la alimentación de 15 kV, 50 Hz no se utiliza de forma directa por ningún consumidor, sino que ha de ser convertida a las siguientes tensiones y frecuencias:

- **440 V, 60 Hz** para la denominada “energía a buques” que sirve de alimentación a la inmensa mayoría de los sistemas propios de los barcos en reparación.

- **400 V, 50 Hz** para alimentación a talleres, grúas, compresores de aire y, en general, a la maquinaria que sirve de auxilio a la Producción, incluyendo los servicios a buques (máquinas de soldar y herramientas manuales).
- **230 V, 50 Hz** para alumbrado y oficinas. La alimentación a buques para los trabajos habituales se hace a través de transformadores independientes de la red, partiendo de 400 V, 50 Hz.
- **3,3 kV, 50 Hz** para alimentar a las bombas de achique del dique no. 5.

En el Anexo 8.6 pueden consultarse los esquemas eléctricos de cada una de las centrales, así como su posición geográfica dentro del Centro de Navantia Fene.

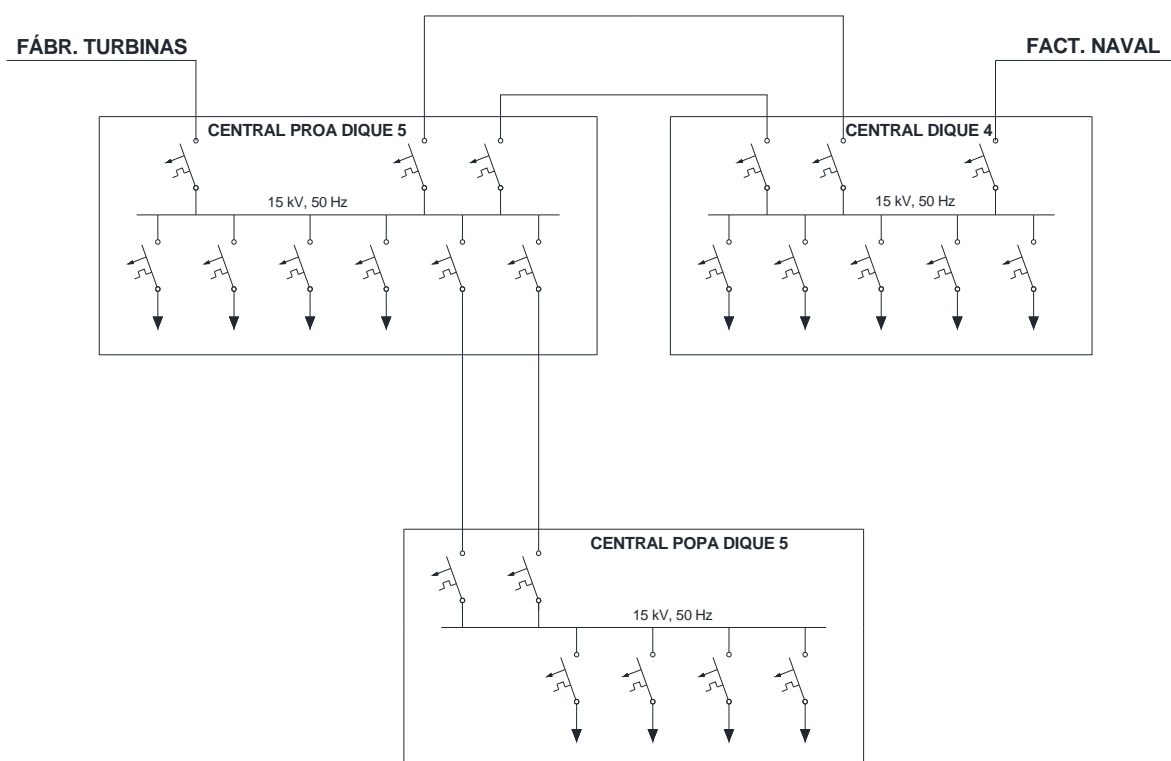


Figura 8.18 Esquema de distribución eléctrica general en Navantia Reparaciones Fene. Fuente: Autor

Como se ha indicado previamente, la acometida procedente de Factoría Naval se recibe a través de la central situada en el dique no. 4, que permite la continuidad hacia la central de proa del dique no. 5, tal y como muestra el esquema de la figura 8.19. Un interruptor general aísla las barras principales de las de la propia central, facilitando su mantenimiento sin necesidad de interrupción del servicio.

Debido al tamaño reducido de este dique, las potencias suministradas por esta central son bajas cuando se comparan con el resto, destacando la toma destinada a energía a buques que cuenta tan solo con 120 kVA de potencia.

Por este mismo motivo, no se ha dispuesto una tensión mayor dedicada a mover las bombas de achique del propio dique, sino que se alimentan a 400 V, proporcionados por el único transformador de este voltaje que posee esta central.

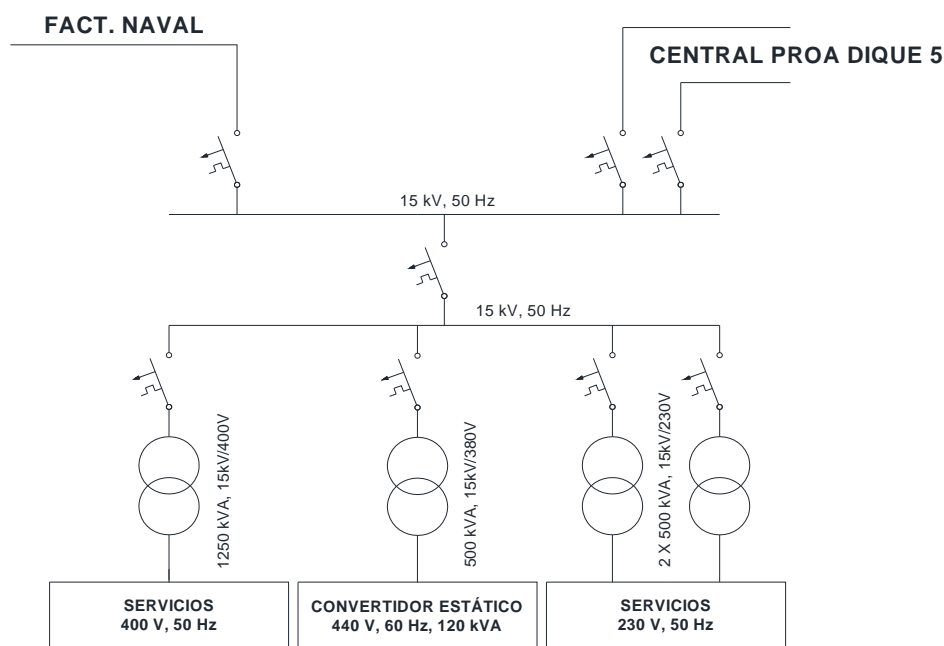


Figura 8.19 Diagrama esquemático de la central eléctrica del dique no. 4. Fuente: Autor

Por el contrario, la central de proa del dique 5 constituye la principal distribución de potencia del Centro de Reparaciones en Fene por las razones siguientes:

3. Conformar el punto de conmutación de las dos acometidas exteriores (Factoría Naval y Fábrica de Turbinas).
4. Proporcionar el suministro eléctrico a los buques atracados en los muelles 11 y 12, frecuentemente grandes gaseros con altos requerimientos de intensidad. Por esta razón, la potencia del suministro de 440 V, 60 Hz se ha ampliado recientemente hasta alcanzar los 1800 kW, tal y como se muestra en la figura 8.20.
5. Los seis transformadores de 1250 kVA que constituyen el suministro de 400 V, 50 Hz, permiten la realización de operaciones de alto consumo de energía tales como el chorreado y pintado de tanques (“*tank-coating*”) de forma simultánea con el fin de ofrecer a los clientes plazos competitivos en el mercado.
6. Alimenta a oficinas y alumbrado de los diferentes talleres del Centro a 230 V, 50 Hz.

De forma similar a la central del dique no. 4, permite la continuidad del suministro eléctrico hacia la central de popa del dique no. 5 con posibilidad de independizarse para su mantenimiento.

Finalmente, la central de popa del dique 5 (figura 8.21) es la encargada de suministrar de forma habitual “energía a buques” a través de un convertidor de 500 kW de potencia, que resulta suficiente para satisfacer las necesidades de los buques de tamaño *panamax*¹¹⁷ varados en esta instalación.

Es destacable el hecho de que un transformador independiente de 2000 kVA proporciona la tensión de 3300 V para mover las dos bombas de achique del propio dique.

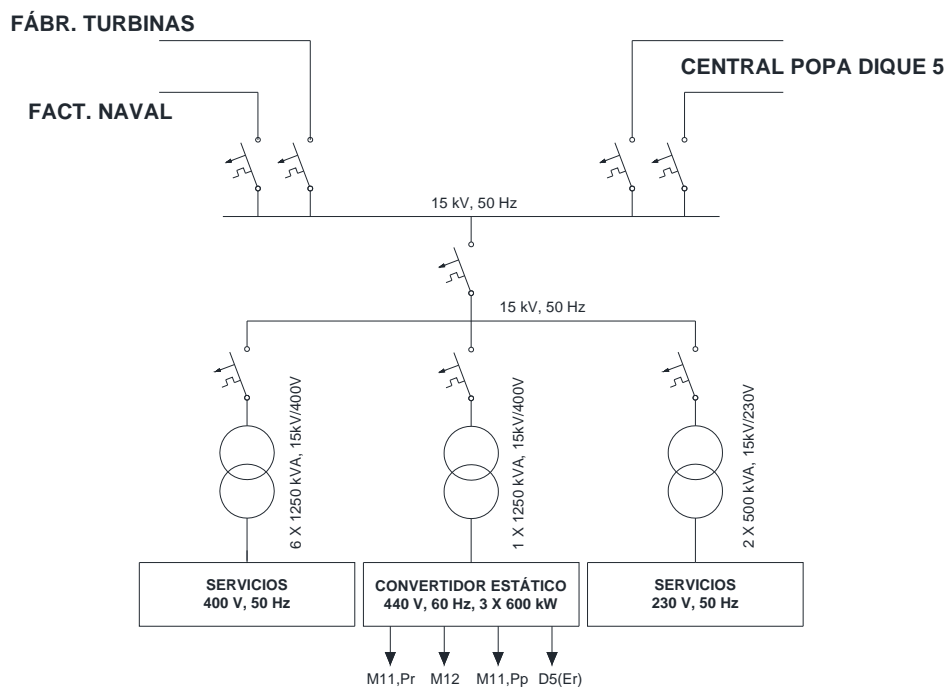


Figura 8.20 Esquemático de la central de proa del dique no. 5. Fuente: Autor

Dentro del centro de Navantia Fene, cabe también citar el muelle número 10 que está situado en el interior del recinto ocupado por Factoría Naval. Aun disponiendo de una longitud adecuada (481 metros) para el amarre de grandes unidades, este muelle acarrea importantes desventajas¹¹⁸ que hacen que su uso se limite a la estancia prolongada de buques, bien en espera de grandes repuestos o, a petición de sus armadores, debido a la ausencia de fletes (“*laid-up*”).

¹¹⁷ Esta denominación representa el mayor tamaño de buques aceptable para transitar por el Canal de Panamá (eslora = 294,13 m, manga = 32,31 m y calado = 12,04 m). Estos buques tienen por término medio un peso muerto aproximado de 65000 dwt (en la actualidad se ha adoptado una nueva denominación *new panamax* como resultado de los planes de expansión de las esclusas del Canal de Panamá).

¹¹⁸ El muelle 10 de Fene tiene los servicios eléctricos muy limitados, posee muy poco calado (6,6 metros), se encuentra muy alejado de los talleres de Reparaciones y, aunque se haya integrado dentro del plan de Inversiones de Mejora de Elementos de Amarre, por el momento, no dispone de norayes que permitan la disposición segura de traveses.

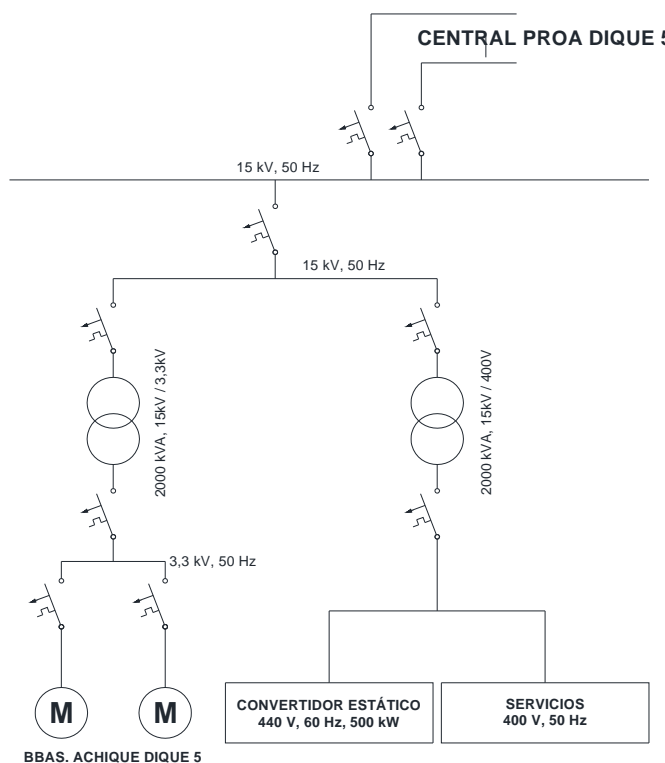


Figura 8.21 Esquemático de la central de popa del dique no. 5. Fuente: Autor

Continuando con la filosofía empleada en el estudio del centro de Ferrol, se ha elaborado una tabla resumen (figura 8.22), donde pueden observarse tanto la procedencia del suministro como las posibles alternativas al mismo.

	3.3 kV, 50 Hz	400 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	440 V, 60 Hz	PROCEDENCIA
DIQUE 4	—	CENTRAL DIQUE 4	CENTRAL DIQUE 4	CENTRAL DIQUE 4	FACT / TURB.
DIQUE 5	C. POPA DIQUE 5	C. PR. + PP. DIQUE 5	C. POPA DIQUE 5	C. POPA DIQUE 5	FACT / TURB.
MUELLE 10	—	FACT.	FACT.	—	FACT / TURB.
MUELLE 11	—	C. PROA DIQUE 5	C. PROA DIQUE 5	C. PROA DIQUE 5	FACT / TURB.
MUELLE 12	—	C. PROA DIQUE 5	C. PROA DIQUE 5	C. PROA DIQUE 5	FACT / TURB.
OFICINAS + TALLERES	—	C. PROA DIQUE 5	C. PROA DIQUE 5	—	FACT / TURB.

Figura 8.22 Cuadro de alimentaciones de diques y muelles del centro de Ferrol. Fuente: Autor

8.4.1.3 Alimentaciones a los centros de Ferrol y Fene

La distribución de la energía eléctrica en nuestro país está gestionada por “Red Eléctrica de España” bajo el amparo de la Ley del Sector Eléctrico 17/2007, adaptada a la directiva europea 2003/54/CE, que ratifica a esta empresa como transportador y operador único del sistema eléctrico español. En su página web (www.ree.es) se muestra sobre un mapa de la península la posición de las centrales y las rutas de

las principales líneas de distribución, que en lo que atañe a la zona de nuestro estudio, se reflejan en detalle en la figura 8.23.

Tal y como se ha mencionado en su análisis individualizado, el centro de Navantia Ferrol (antigua Bazán) presenta el inconveniente principal de que posee una acometida general única, procedente de la central de Cornido.

La aparición de un problema importante en la línea de distribución, en la propia central o en la subestación de Caranza, donde la tensión se reduce a 15 kV (véase figura 8.9), impedirá el suministro a este centro.

Por el contrario, el centro de Fene (antigua Astano) tiene dos posibilidades de conexión a la red:

7. A nivel de 132 kV desde el enlace Eume – Vilar do Colo – Cornido (a través de Factoría Naval).
8. A nivel de 15 kV desde Santa Marina, procedente de Cornido, utilizando una línea de suministro compartida con pequeños consumidores que le confiere una mayor seguridad¹¹⁹. La acometida se realiza a través de las instalaciones que posee la Fábrica de Turbinas en Fene.

Este hecho, unido a la alternativa de utilización de la Planta de Cogeneración, hace que el suministro pueda considerarse de mayor fiabilidad que en el caso de Ferrol.



Figura 8.23 Mapa de distribución eléctrica de la zona de Ferrol. Fuente: Red Eléctrica Española. Disponible en: http://www.ree.es/transporte/mapa_red_transporte.asp

Prueba de ello ha sido la situación vivida en el año 2009 durante el paso del huracán Klaus. La interrupción del suministro de los grandes consumidores derivada de los daños producidos en las líneas de distribución provocó un corte de corriente en Ferrol que se prolongó durante 48 horas. Sin embargo, Fene pudo continuar su producción tras conectarse a la línea de la Fábrica de Turbinas.

¹¹⁹ Red Eléctrica de España sigue un protocolo de actuación que fija las prioridades referentes al mantenimiento y restablecimiento de la energía eléctrica con el objeto de proteger a los servicios de emergencia (hospitales, centros de comunicaciones, etc.) y a los pequeños consumidores.

Esta diferencia operativa tiene una importancia fundamental a la hora de evaluar los riesgos y, en consecuencia, en la definición de las acciones mitigadoras a implantar que nos permitan afrontar con seguridad una alerta meteorológica.

8.4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS DE EMERGENCIA

Un dato fundamental a tener en cuenta a la hora de estudiar las necesidades de generación de energía eléctrica y la identificación de los puntos de conexión a la red existente es la cuantificación de los servicios necesarios que se deseen mantener operativos.

El objetivo propuesto es el mantenimiento no sólo de aquellos sistemas puramente preventivos, tales como el servicio contraincendios o el reachique de los diques, sino también el alcance de un grado de operatividad que permita la continuidad de ciertos trabajos que pudieran tener una influencia decisiva en el plazo de la reparación de los buques que se encuentren en el Astillero en ese momento. Evidentemente, no podremos contemplar aquellas tareas que requieren un alto consumo eléctrico, tales como el chorreado y pintado de tanques que, irremediablemente, han de interrumpirse durante el corte de corriente.

Parece obvio mencionar que esta no es una tarea fácil dada la gran diversidad de trabajos que se realizan en nuestras instalaciones, así como la fluctuación de la carga de trabajo durante el año. Por tanto, se hace necesario establecer una situación media asociada a unos consumos estimados dentro de cada una de las tensiones utilizadas.

Analizaremos de forma independiente cada una de las frecuencias y tensiones empleadas, identificando la central de procedencia, tanto en el caso del centro de Ferrol como en el de Fene.

8.4.2.1 Centro de Ferrol

▪ 440V, 60 Hz (Energía a buques)

Los consumos requeridos por los buques en reparación se mueven en un rango de 200 amperios correspondientes a las pequeñas unidades hasta 1600 amperios consumidos por los gaseros de gran tamaño debido fundamentalmente a la gran dimensión de sus grupos de aire acondicionado.

Por otro lado, no podemos olvidar que aunque el buque dispone de medios propios de suministro eléctrico, durante la estancia en reparación parte de los mismos pudieran encontrarse inoperativos. En el caso de que encontrándose el buque en dique necesitara una fuente de refrigeración externa, esta puede suministrarse mediante la conexión a un servicio provisional de refrigeración desde la red de contraincendios del Astillero.

La probabilidad de que el buque no pueda generar los servicios mínimos necesarios para mantener su habitabilidad y operatividad de los sistemas de amarre es muy baja, especialmente si tenemos en cuenta la posibilidad de utilización del generador de emergencia propio, que suele ser una fuente de energía fiable puesto que, por una parte debe de ser independiente de cualquier otro medio auxiliar, y por otra,

debido a su escaso uso a bordo, raramente requiere su mantenimiento o reparación durante la estancia en el Astillero.

Sin embargo, consideraremos necesaria como medida preventiva la alimentación a uno de los buques que permita la operatividad de los servicios básicos de habitabilidad (alumbrado interior y exterior, cocina, tanques hidróforos, etc.) y maniobra de maquinillas, estimando para ello un máximo de 300 amperios (180 kW).

La continuidad de este servicio desde la instalación eléctrica fija del Astillero, tal y como se puede observar en el esquemático de la figura 8.13, requeriría la alimentación provisional de las barras de 15 kV para hacer funcionar uno de los convertidores de frecuencia estáticos o dinámicos.

- **400V, 50 Hz**

Con el fin de obtener una cuantificación de la potencia necesaria en esta tensión, distinguiremos entre los servicios considerados como de emergencia que son necesarios para atender un posible incendio, inundación o evacuación de heridos; de aquellos otros pensados para la continuación de los trabajos críticos de la reparación que denominaremos servicios básicos y se enumeran a continuación:

Servicios de emergencia:

- Reachique de diques: Permite el arranque de una bomba de reachique, tanto del dique 2 como del 3 para evitar la acumulación de agua en el plan del dique debida a pérdidas y retornos de los servicios de refrigeración.
- Bombas de contraincendios: Mantienen la presión en la línea de agua salada a diques y muelles para la extinción de incendios, aunque también son utilizadas para suministrar agua de refrigeración a diversos servicios del buque, tales como motores auxiliares o instalaciones frigoríficas.
- Grúas: Además de su uso para el embarque y desembarque de materiales, permiten el rescate de personas en caso de emergencia.

Servicios básicos:

- Aire comprimido: Desde la central neumática situada en la proa del dique 3 se abastecen de este servicio tanto el propio dique como los muelles que los rodean. Son también dignos de mención los compresores eléctricos portátiles de media capacidad disponibles para ser trasladados al dique 2 y al resto de los muelles.
- Central de gases: Necesita alimentación eléctrica para el accionamiento de válvulas y controles de seguridad de las líneas de oxígeno, acetileno y CO₂ para los trabajos en buques y talleres.
- Servicios a bordo: Proporcionan energía a la maquinaria portátil utilizada por el personal del Astillero a bordo, tales como las máquinas de soldar o los ventiladores para espacios confinados, sirviendo también de energía primaria para su transformación a 220V para el funcionamiento

de las herramientas manuales (taladros, radiales, alumbrado portátil, etc.) y a 24 V utilizada en la iluminación de los espacios confinados.

- Oficinas y talleres: Para la continuación del trabajo del personal sin prever el arranque de grandes máquinas.
- Aseos del personal del Astillero y sus subcontratistas: Mantenimiento de alumbrado y agua caliente.
- Bombas de lastre: Utilizadas para el suministro de agua salada para la preparación del buque antes de su salida de dique. La probabilidad de la necesidad de su uso es muy baja.

El cuadro de la figura 8.24 muestra en kW la estimación de potencia de cada uno de los servicios citados así como la central eléctrica de procedencia en primer, segundo y tercer nivel.

		DIQUE 2	DIQUE 3	MUELLE 14	MUELLE 9	MUELLE 11	MUELLE 12	MEDIO
EMERGENCIA	REACHIQUE	30	60	-	-	-	-	60
	C.I.	40	90	-	-	-	-	130
	GRÚAS	60	60	60	60	60	60	120
BÁSICOS	AIRE	220	220	40	40	40	40	300
	GASES	5	5	-	-	-	-	10
	SERVICIOS	40	110	60	60	60	60	250
	OFICINAS Y TALLERES	40	60	-	-	-	-	100
	ASEOS	20	45	-	-	-	-	65
	LASTRE	30	135	-	-	-	-	70
ALIMENTACIÓN	NIVEL 1	DIQUE 2	Nº 2 Y 3 D3	Nº 2 D3	ESTE	ESPIGÓN	ESPIGÓN	
	NIVEL 2	-	Nº 1 D3	Nº 1 D3	-	-	-	
	NIVEL 3	ARSENAL	ARS/AST	ARS/AST	ARSENAL	ARSENAL	ARSENAL	
TOTAL								1105

Figura 8.24 Cuadro de consumos en kW de los servicios tanto de emergencia como básicos de 400 V, 50 Hz correspondientes al Centro de Ferrol. Fuente: Autor

Es necesario aclarar que el consumo denominado “medio” que permite alcanzar el cálculo del total necesario ha sido identificado bajo los siguientes supuestos:

- Reachique: Las bombas de reachique de los diques no trabajan simultáneamente.
- C.I.: Trabajo en continuo de dos bombas de contraincendios.
- Grúas: Trabajo simultáneo continuo de dos grúas.
- Aire: Mantenimiento en servicio de un compresor de gran tamaño y dos portátiles.

- Gases: Operación normal.
- Servicios: Se ha considerado mantener el 60% del consumo debido a los trabajos a bordo.
- Oficinas y talleres: Totalmente operativas excepto el arranque de grandes máquinas.
- Aseos: Totalmente operativos.
- Lastre: Teniendo en cuenta un consumo medio y muy poca probabilidad de uso.

La suma de todos estos consumos individuales refleja un total de 1105 kW necesarios para la continuación de los trabajos minimizando el riesgo de demora de las reparaciones en curso.

Mención especial merece el importante número de centrales de transformación que intervienen en los distintos diques y muelles, lo que dificulta en gran medida la conexión de medios auxiliares.

- **230V, 5 kV y 6 kV, 50 Hz**

Los consumos eléctricos correspondientes a la tensión de 230 V necesarios para el alumbrado y oficinas han sido ya contabilizados en el cómputo realizado para 400 V, 50 Hz por ser éste el voltaje de procedencia.

Las bombas de achique principales de los diques 2 y 3, alimentadas a 5 kV y 6 kV respectivamente (ver esquema de la figura 8.14), no han sido contempladas como servicios de emergencia debido a la posibilidad de su sustitución por las de reachique o portátiles en caso requerido.

8.4.2.2 Centro de Fene

- **440V, 60 Hz (Energía a buques)**

El mismo razonamiento expuesto anteriormente para el análisis de esta tensión en el caso de Ferrol es válido para el Centro de Fene, por lo que cuantificaremos en 180 kW la potencia necesaria para cubrir esta necesidad.

A diferencia del Centro de Ferrol, los convertidores instalados tanto en el dique 4 como en el dique 5 funcionan con una tensión de alimentación de 400 V (ver esquemas de las figuras 8.19 y 8.20).

- **400V, 50 Hz**

Para su análisis utilizaremos la misma división empleada en el estudio del centro de Ferrol:

Servicios de emergencia: Reachique de diques, bombas de contraincendios y grúas.

Servicios básicos:

- ✓ Aire comprimido: Desde la central neumática situada en la proa del dique 5 se abastecen de este servicio tanto el propio dique como los muelles 11 y 12. El dique 4 requiere el uso de compresores portátiles en número y tamaño variables en función de la demanda prevista.
- ✓ Central de gases.
- ✓ Servicios a bordo: Fundamentalmente máquinas de soldar y ventiladores para espacios confinados.
- ✓ Oficinas y talleres.
- ✓ Aseos del personal del Astillero y sus subcontratistas.

✓ Bombas de lastre.

▪ **230 V, 50 Hz**

Tanto en diques como en muelles, los servicios de 220 V se suministran desde transformadores fijos situados en las centrales del dique 4 y proa dique 5 los cuales, alimentados a 15 kV, proporcionan energía también a las oficinas, alumbrado exterior y talleres (ver figuras 8.19 y 8.20).

▪ **3,3 kV, 50 Hz**

Esta fuente de energía resulta necesaria para el accionamiento de las bombas de achique principales, las cuales no se contemplan como servicio de emergencia debido a la posibilidad de utilización de las de reachique.

		DIQUE 4	DIQUE 5	MUELLE 10	MUELLE 11	MUELLE 12	MEDIO
EMERGENCIA	REACHIQUE	43	42	-	-	-	43
	C.I.	90	117	-	-	-	207
	GRÚAS	150	80	80	80	80	230
BÁSICOS	AIRE	40	220	40	40	40	260
	GASES	5	5	-	-	-	10
	SERVICIOS (440 + 230)	20	80	40	40	40	130
	OFICINAS Y TALLERES	15	40	-	-	-	55
	ASEOS	6	15	-	-	-	21
	LASTRE	90	117	-	-	-	70
ALIMENTACIÓN	NIVEL 1	DIQUE 4	D5 PR+PP	FACT	D5 PROA	D5 PROA	
	NIVEL 2	D5 PROA	D5 PROA	D5 PROA	D5 PROA	D5 PROA	
TOTAL							1026

Figura 8.25 Cuadro de consumos en kilowatios de los servicios tanto de emergencia como básicos de 400 V y 230 V, 50 Hz correspondientes al Centro de Fene. Fuente: Autor

El cuadro de la figura 8.25 muestra la estimación de potencia en kW de cada uno de los servicios citados, así como la central eléctrica de procedencia en primer y segundo nivel.

La situación contemplada para alcanzar el cálculo del consumo “medio” ha sido la siguiente:

- Reachique: Las bombas de reachique de los diques no trabajan simultáneamente.
- C.I.: Trabajo en continuo de dos bombas de contraincendios.
- Grúas: Trabajo simultáneo continuo de dos grúas. Es de destacar que las grúas del dique 5 dan también servicio a los muelles 11 y 12, por lo que este número es suficiente.

- Aire: Mantenimiento en servicio un compresor de gran tamaño (dique 5) y uno de media capacidad (dique 4).
- Gases: Operación normal
- Servicios: Se ha considerado mantener el 60% del consumo debido a los trabajos a bordo.
- Oficinas y talleres: Totalmente operativas excepto el arranque de grandes máquinas.
- Aseos: Totalmente operativos
- Lastre: Teniendo en cuenta un consumo medio y muy poca probabilidad de uso.

Si diferenciamos las potencias necesarias en función de las frecuencias utilizadas (tal como se muestra en la tabla resumen de la figura 8.26), vemos que son muy similares en ambos centros.

	400 V + 230 V, 50 Hz	440 V, 60 Hz	TOTAL
FERROL	1105	180	1285
FENE	1026	180	1026

Figura 8.26 Tabla resumen de necesidades de potencia en kW. Fuente: Autor

8.4.3 MEDIOS ALTERNATIVOS DE SUMINISTRO

Las alternativas que permitirían la continuidad de la actividad en el caso de un corte de suministro en la red de 132 kV son las siguientes:

- a. **Conmutación del centro de Fene a la línea procedente de Eume - Vilar do Colo a 15 kV** disponible en la central de proa del dique 5 a través de la Fábrica de Turbinas. La operación es sencilla y ofrece la posibilidad de suministro sin limitación de potencia.
- b. **Arranque y acoplamiento de la planta de cogeneración de Fene.** En este caso, la puesta en servicio es más complicada ya que requiere la movilización del personal necesario para su atención, que puede estimarse en 6 horas. La planta está compuesta por 6 motores Caterpillar 3516-B de 1520 kW cada uno que suponen una potencia eléctrica total de 7584 kW, asegurando la continuidad del servicio sin ningún tipo de limitación.



Figura 8.27 Imagen del cuadro de conexión y control del generador Agalsa mostrando el detalle de su conmutador de frecuencia situado en su interior. Fuente: Autor

c. **Uso de generadores portátiles.** Constituye la única alternativa viable en el centro de Ferrol y presenta dos posibilidades:

- Utilización de **generadores propios**. *NRFF* es propietaria en la actualidad de dos generadores con las siguientes características:
 1. Generador Caterpillar 3512 TA de 1275 kW de potencia montado sobre un contenedor capaz de suministrar 400 V, 50 Hz y 440 V, 60 Hz.
 2. Grupo electrógeno Agalsa accionado por un motor Volvo Penta TAD163, de 485 kW de potencia. Sus cuadros de control y conexión han sido modificados para su conmutación entre 400 V, 50 Hz y 440 V, 60 Hz.

Ambos generadores pueden ser desplazados tanto dentro de cada uno de los astilleros como de uno al otro sin dependencia de energía eléctrica exterior.

- Uso de **generadores de alquiler**. En el Anexo 8.7 pueden consultarse los catálogos de las tres principales empresas que ofrecen este servicio en la zona de manera efectiva:
 1. *AGGREKO*: Con base en Barberá del Vallés (Cataluña), dispone de una amplia flota de generadores portátiles de hasta 1500 kW de potencia que, contrastada con la experiencia de los últimos años, es capaz de movilizar una de sus unidades en un plazo medio de 36 horas.
 2. *CATERPILLAR*: Posee una delegación cercana (La Coruña) que permite rebajar el plazo de recepción del generador hasta 12-24 horas, aunque el número de

generadores disponibles es menor que el de la firma anterior. La potencia máxima está también fijada en 1500 kW.

3. *GAM*: Por el hecho de disponer de un almacén de maquinaria en el polígono de Vilar do Colo, a poco más de 10 km. de distancia de Navantia, puede movilizar un generador en menos de 12 horas, aunque el número de unidades de gran potencia disponibles es muy limitado. La potencia máxima ofertada es, al igual que sus competidores, de 1500 kW.

De forma genérica, podemos decir que la utilización de generadores de alquiler posee dos importantes limitaciones:

- ✓ Su disponibilidad no es un factor seguro, ya que depende de la demanda existente en el momento de su necesidad.
- ✓ Las posibilidades de gestionar con éxito el alquiler de un generador de 440 V y 60 Hz en un tiempo razonable son muy reducidas debido a que el mercado europeo trabaja con 50 Hz de frecuencia. Esta limitación se ve resuelta con un convertidor portátil de tipo dinámico disponible en el centro de Fene, compuesto por un conjunto motor eléctrico – multiplicador de velocidad – generador, de las características siguientes:
 - Motor trifásico *Siemens* con rotor en jaula de ardilla de 320 kW y 1475 rpm, alimentado a 400 V, 50 Hz.
 - Multiplicador *Picañol* de un solo tren de engranajes con ejes de entrada y salida horizontales y paralelas con relación de transmisión 1/1,2.
 - Alternador autorregulado sin escobillas, FENYA de 240 kW, 1800 rpm y salida de tensión de 440/250 V.

La potencia del convertidor es suficiente para satisfacer como mínimo las necesidades de alimentación en 440 V/60 Hz previstas de acuerdo con la figura 8.26 en uno de los dos centros.

8.4.4 ANÁLISIS DE RIESGOS

Con el fin de aprobar tanto las acciones más adecuadas a ejecutar como su prioridad, llevaremos a cabo un análisis de riesgos similar al realizado en el apartado 6.3, teniendo en cuenta la frecuencia de uso de cada muelle o dique y las posibilidades de suministro alternativo relacionadas. De esta forma, el índice global de exposición al riesgo vendrá definido por el producto de las dos variables siguientes:

1. **Índice de frecuencia (i_f)**: Refleja la exposición al riesgo en función del grado de utilización del dique o muelle evaluado. Su cuantificación vendrá determinada por la misma tabla utilizada en el capítulo 6 (figura 6.43):

FRECUENCIA DE USO	i_f
FRECUENTE	100
MEDIA	30
OCASIONAL	10

Figura 8.28 Valoración según la frecuencia de uso. Fuente: Autor

2. **Índice de Autonomía (i_a)**: Indica la disponibilidad de una fuente de energía alternativa distinta de los generadores portátiles y tomará los valores reflejados en la tabla 8.28.

MUELLES Y DIQUES	i_a
FENE	30
FERROL	100

Figura 8.29 Valoración del índice de autonomía. Fuente: Autor

El índice global de exposición al riesgo (i_G) vendrá dado por la relación (8.2)

$$i_G = \frac{i_f \cdot i_a}{100} \quad (8.2)$$

INSTALACIÓN		i_f	i_a	i_G
FERROL	DIQUE 2	30	100	30
	DIQUE 3	100	100	100
	M 9	100	100	100
	M 11	10	100	10
	M 12	10	100	10
	M 14	100	100	100
FENE	DIQUE 4	10	30	3
	DIQUE 5	100	30	30
	M 10	10	30	3
	M 11	30	30	9
	M 12	30	30	9

Figura 8.30 Índice global de exposición al riesgo por fallo de suministro de la energía eléctrica principal. Fuente: Autor

Aplicando los valores de frecuencia y autonomía para cada uno de los diques y muelles, se ha elaborado una tabla como la de la figura 8.30, obteniendo el índice global de exposición al riesgo de cada instalación.

Este índice refleja claramente los puntos de acción prioritarios (dique 3 y muelles 9 y 14), así como aquellos otros que habrían de solucionarse a medio plazo (dique 2 y dique 5).

8.4.5 CONEXIÓN DE GENERADORES

Una vez conocidos los medios alternativos de suministro y la potencia mínima requerida en caso de corte de corriente, se hace necesario el estudio de las posibilidades de conexión en la red eléctrica de Navantia.

Debido a la complejidad de dicha red y al amplio abanico que forman las distintas tensiones y frecuencias que la componen, se ha de buscar una solución que permita una rápida puesta en servicio de los medios auxiliares, de la forma más simple posible.

Atendiendo a las prioridades definidas y teniendo en cuenta la distribución eléctrica de ambos centros, dividiremos nuestro estudio en tres fases:

1. Dique 3 y muelle 14 (alimentados desde la Central de Astillero o Arsenal).
2. Dique 2 y muelle 9 (alimentados desde la Central de Arsenal).
3. Dique 5.

8.4.5.1 Fase 1: Dique 3 y muelle 14

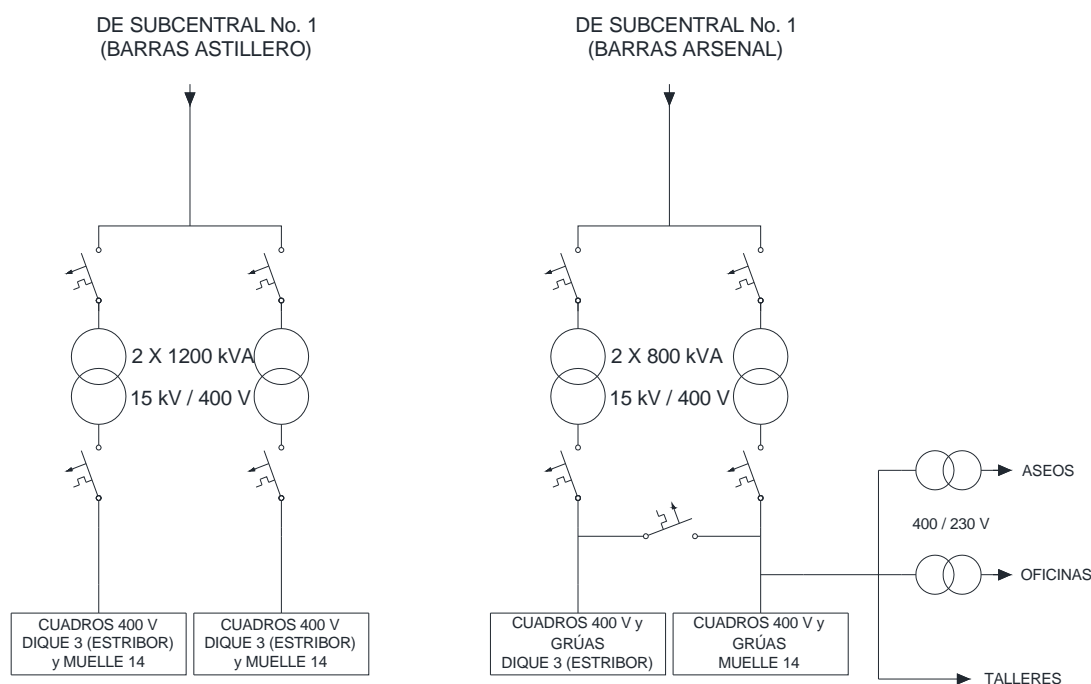


Figura 8.31 Subcentral no. 2: Esquema eléctrico de la distribución de 400 V y 230 V, 50 Hz. Fuente: Autor

Las figuras 8.15 y 8.16 indican que la alimentación del dique 3 y muelle 14 es común a ambas instalaciones y procede de la Subcentral de Distribución no. 1, la cual puede alimentarse desde las barras de Astillero o de Arsenal.

Al mismo tiempo, dicha Subcentral alimenta a los números 2 y 3 situadas a babor y estribor del dique 3, respectivamente.

Una distribución de la Subcentral no. 2 más detallada que la vista anteriormente en 400 V y 230 V está representada en la figura 8.31 donde se puede observar que proporciona energía al muelle 14 y al dique 3 simultáneamente.

Resulta digno de mención el hecho de que los cuadros de alimentación de 400 V situados a pie de dique y muelle se encuentran intercalados con respecto a su transformador de origen con el fin de facilitar el cambio de cuadro en caso de fallo de una de las líneas, a la vez que se simplifica el reparto de cargas.

El punto idóneo de conexión del generador portátil de 400 V estaría ubicado a la salida de los transformadores de 800 kVA, proporcionando energía a los servicios (aseos, grúas, oficinas, etc.) y a una parte de los cuadros.

Sin embargo, la citada conexión no mantendría operativas ni las bombas de reachique, ni los chigres de maniobra ni los cuadros del costado de babor del dique 3, alimentados desde la subcentral no. 3, cuyo esquema se indica en la figura 8.32.

El suministro eléctrico a nivel de 400 V obligaría a disponer de dos generadores independientes para alimentar las Subcentrales 2 y 3, a la vez que dejaría sin tensión los aseos de proa del dique, que son alimentados directamente desde la Subcentral no. 1.

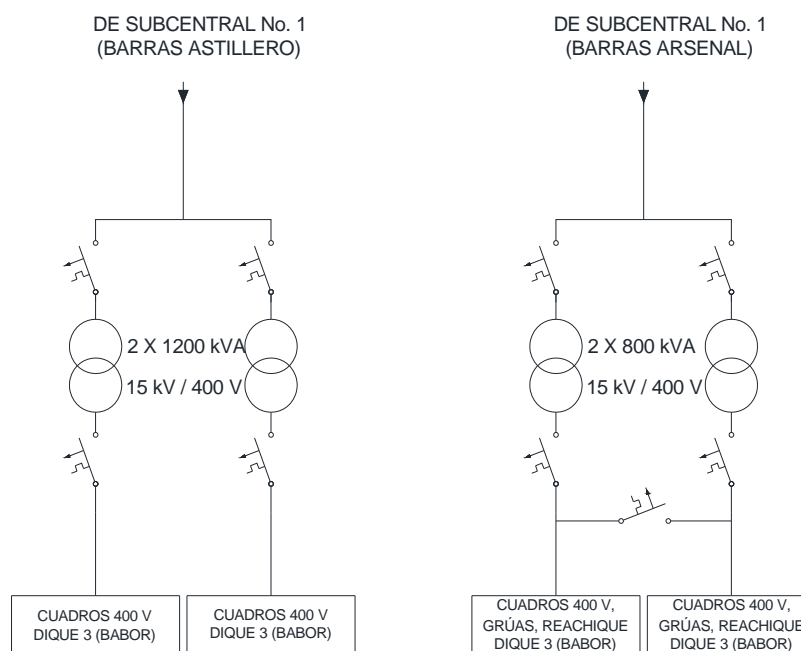


Figura 8.32 Subcentral no. 3: Esquema eléctrico de la distribución de 400 V y 230 V, 50 Hz. Fuente: Autor

Se ha identificado una segunda posibilidad que, aunque económicamente resulta menos ventajosa, permite una mayor flexibilidad en cuanto a la elección de los servicios necesarios de acuerdo a las necesidades del momento. Dicha opción consiste en la conexión en la Subcentral no. 1 al nivel de 15 kV, puesto que de esta forma podríamos mantener con tensión la totalidad de los cuadros eléctricos de 400 V y 230V, 50Hz.

Para su puesta en servicio se habrán de desconectar aquellos consumidores considerados como no necesarios con el fin de equilibrar la carga con la potencia del generador a conectar.

NRFF ha encargado el estudio de dicha conexión, incluyendo el cálculo de las corrientes de cortocircuito que permiten el dimensionamiento del cableado e interruptores necesarios tomando como base una potencia de 1600 kW (2000 kVA), que es ligeramente superior a los generadores que actualmente pueden encontrarse en el mercado de alquiler (disponible en el Anexo 8.8) y que se representa de forma simplificada en la figura 8.33.

La reforma incorpora básicamente los siguientes elementos:

- Un cuadro de 400 V que recibe la potencia del generador.
- Un transformador que eleva la tensión a 15 kV.
- Una nueva cabina del cuadro principal que permite su conexión a barras.

Esta disposición permite satisfacer de forma muy holgada todos los servicios de emergencia y básicos, cuantificados en la tabla de la figura 8.24 en 1105 kW en el supuesto de que estuvieran en operación simultáneamente, además de habilitar el arranque de una bomba de achique principal en caso necesario. Los enclavamientos A y B aseguran que no se produzca un acoplamiento accidental entre el generador y cualquiera de las barras de alimentación (Arsenal o Astillero).

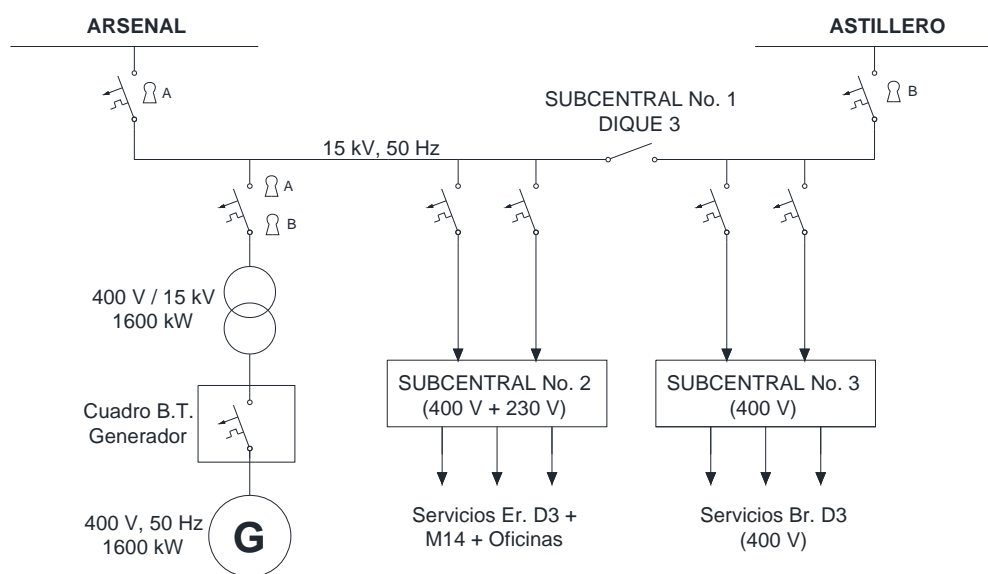


Figura 8.33 Esquema de conexionado de generador portátil en Subcentral no. 1. Fuente: Autor

En caso necesario, el suministro de energía a buques habría de realizarse bien por medio de uno de los generadores propios o conectando a la red de 400V, 50 Hz el convertidor móvil citado.

Con el fin de reducir el tiempo de conexión a la vez de mejorar su seguridad, el cuadro de baja tensión habrá de proveerse de:

1. Conectores rápidos unipolares de alta intensidad para facilitar el acoplamiento entre el propio cuadro y el generador. Un ejemplo de los mismos comercializado por ICP puede consultarse en el Anexo 8.9.

2. Sincronismo automático de secuencia de fases o, en su defecto, un indicador de sincronismo para su comprobación previa al cierre del interruptor.

8.4.5.2 Fase 2: Dique 2 y muelle 9

La tabla de la figura 8.27 muestra claramente que una vez solucionada la fase 1 (muelle 14 y dique 3), el punto de actuación a resolver a continuación es el muelle 9 con un consumo total básico estimado que no supera los 200 kW (figura 8.21).

Estudiaremos dos posibilidades:

1. Conexión de un generador portátil en el propio muelle.
2. Teniendo en cuenta que la alimentación es común al dique 2 (cuarta prioridad), analizaremos la conexión en 15 kV en las barras de Arsenal.

La alimentación eléctrica al muelle 9 se realiza desde la subcentral denominada “*Muelle Este*” (figura 8.34) que recibe directamente la energía desde barras de Arsenal y está compuesta por cuatro transformadores de 600 kVA con salidas independientes de 400 y 230 V. Todos ellos se acoplan en paralelo en sendas barras de alimentación que suministran tensión a los cuadros situados a lo largo del muelle 9.

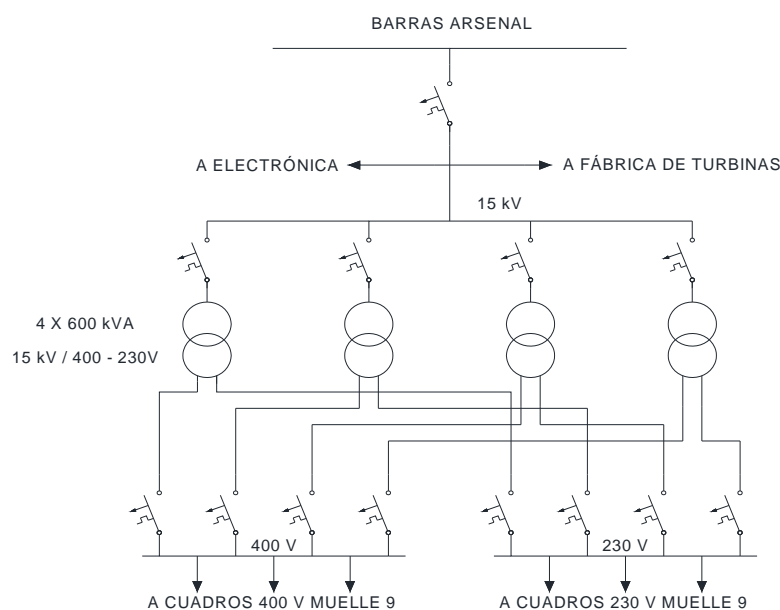


Figura 8.34 Esquema simplificado de la Subcentral Muelle Este. Fuente: Autor

Debido a que la tensión de 230 V se utiliza solamente para el alumbrado de policía y de la propia central, la continuidad del servicio de 400 V podrá realizarse de forma sencilla con un cuadro de alimentación que, tomando de estas barras, permita la conexión de un generador autónomo (figura 8.35) a través de un interruptor con bloqueo sobre los cuatro provenientes de los transformadores.

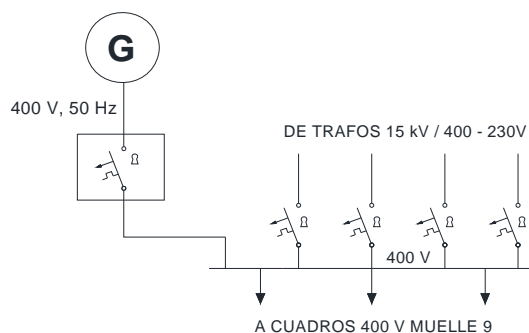


Figura 8.35 Conexión de generador autónomo en barras de 400V alimentación cuadros muelle 9. Fuente: Autor

De forma similar a la solución aportada para la fase 1, la segunda posibilidad comentada requiere la elevación de tensión del generador desde 400 a 15 kV. Esta disposición (figura 8.36) permitirá el funcionamiento interrumpido de otros servicios, tales como el taller mecánico, bombas de achique principales del dique 2 o la alimentación a los muelles 7, 11 y 12, que podrían también resultar especialmente necesarios si el corte de corriente se prolongase durante varios días.

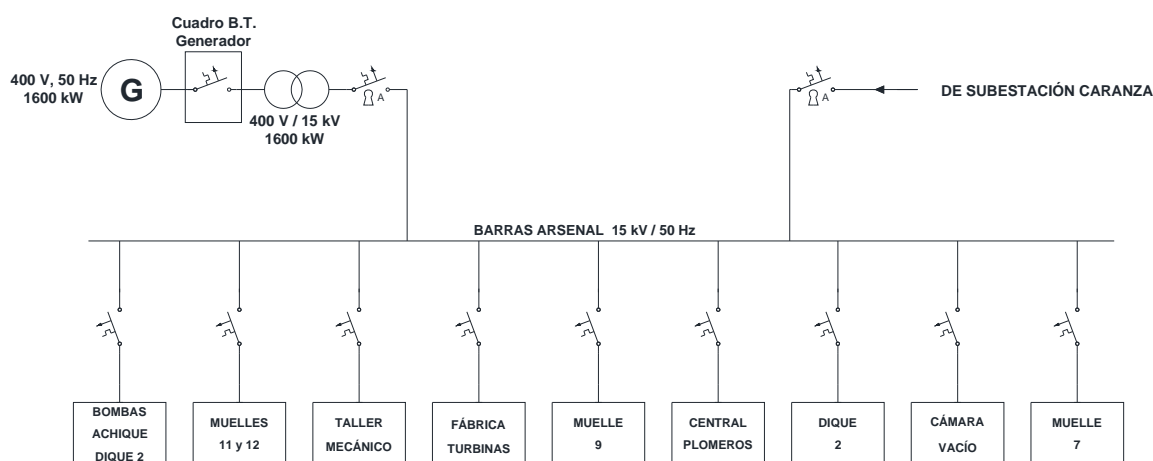


Figura 8.36 Conexión de generador autónomo en barras Arsenal de 15 kV. Fuente: Autor

Como contrapartida, se ha de resaltar la necesidad de un control del amperaje del generador con el fin de ajustar la carga total al objeto de evitar su desconexión por sobrecarga.

8.4.5.3 Fase 3: Dique 5

Por el hecho de que su índice de criticidad es muy bajo (30 según la tabla de la figura 8.30), las reformas necesarias para conexión de generadores autónomos que alimenten al dique 3 se han catalogado como de prioridad mínima.

Tal y como muestran las figuras 8.19 a 8.21, la reducción de tensión no se realiza en cascada sino en paralelo y con transformadores independientes, lo que dificulta la conexión en un solo punto. De forma similar a los casos anteriores, la solución de la conexión de un generador portátil puede plantearse de dos formas distintas:

- Conexión en baja tensión.
- Conexión en media tensión.

NRFF ha encargado el estudio para cada una de las tres centrales de acuerdo a la primera alternativa, disponible íntegramente en el Anexo 8.10, incluyendo el dimensionado de líneas de acuerdo a los consumos estimados, instalación de red de tierra y cálculos de corrientes de cortocircuito para la selección de los disyuntores. La disposición general se muestra en la figura 8.37 de forma resumida.

La solución propuesta para el dique 4 requiere el montaje de un nuevo transformador e interruptores automáticos que se desbloquearán con la apertura de los de alimentación a los transformadores propios de la central. Mantiene operativos los servicios de 400 V y 220V, 50 Hz y deja fuera de servicio el convertidor de frecuencia.

La central de popa del dique 5 es la única con reducción de tensión en cascada, simplificando la conexión del generador. La alimentación en barras de 400 V, 50Hz permitirá el funcionamiento del convertidor de frecuencia y la tensión en 220 V no se verá afectada porque proviene de la central de proa. Sin embargo, las bombas de achique principales (3300 V) quedarían sin alimentación.

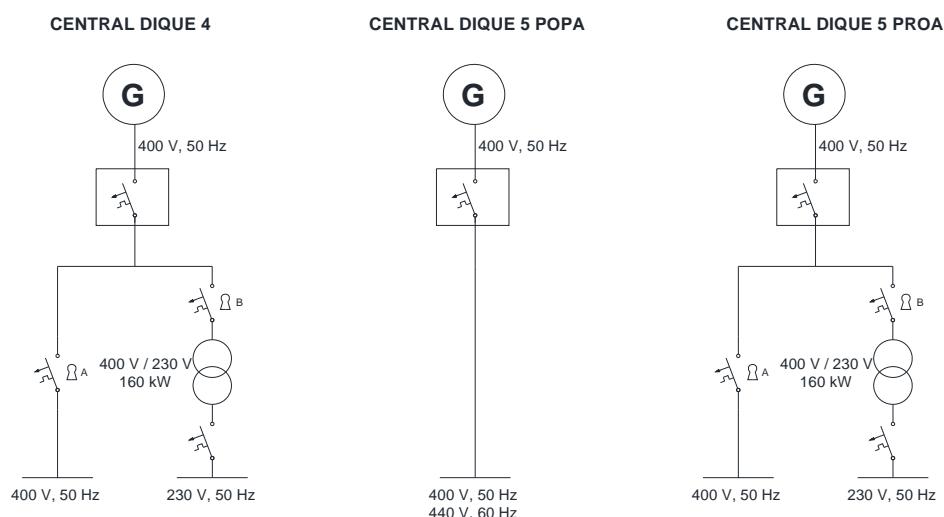


Figura 8.37 Conexión de generadores en baja tensión. Fuente: Autor

De forma similar al caso de la central del dique 4, la conexión en baja tensión a la central del dique 5 de proa requiere el suministro de un transformador de 440/220 V e interruptores con enclavamientos en ambas barras. El convertidor principal quedaría sin alimentación.

Esta disposición supondría habilitar tres puntos de conexión independientes en el centro de Fene para su uso en función de las necesidades del momento, lo que complicaría la instalación a la vez que limitaría los servicios disponibles.

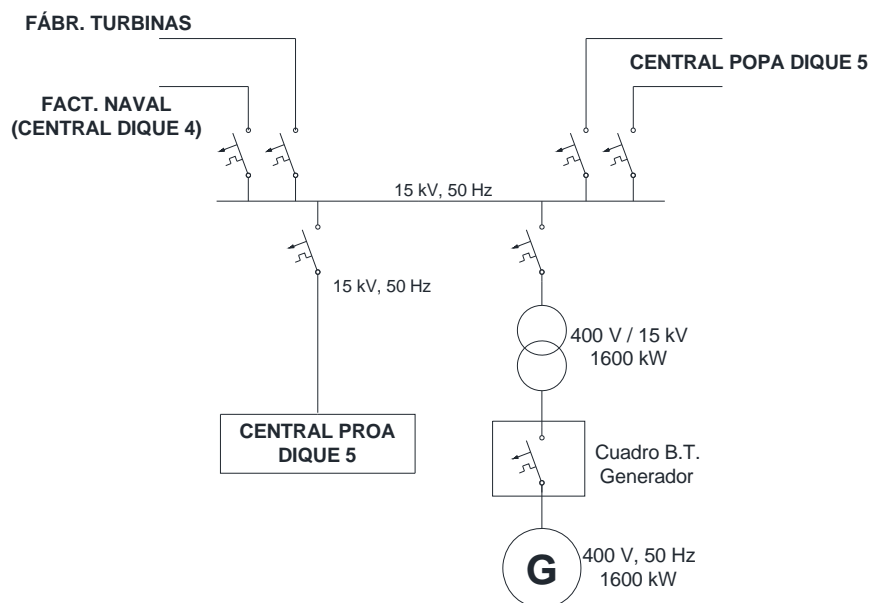


Figura 8.38 Conexión en media tensión del centro de Fene. Fuente: Autor

La alternativa a la conexión en baja tensión es la alimentación directa a las barras de distribución de corriente principal en el astillero de 15 kV que permite el acceso a cualquier punto de las instalaciones (véase figura 8.38) a la vez que mantiene operativos la totalidad de los servicios, restringiendo el consumo total.

De acuerdo con el estudio realizado por SCHNEIDER (disponible en el Anexo 8.11) la instalación en media tensión requiere el suministro y montaje de una nueva cabina para prolongar el embarrado existente y alojar el transformador de 400/15 kV, los disyuntores y los equipos de protección necesarios. El importe económico de esta instalación es considerablemente mayor que el correspondiente a la instalación en baja tensión. Sin embargo, debido a la versatilidad conferida, constituye indudablemente la mejor alternativa.

8.5 RENOVACIÓN DE LAS GAZAS DE LAS AMARRAS

El mantenimiento y revisión de las amarras ha cobrado una notable importancia tras la publicación de la nueva edición de *OCIMF* en el año 2008, ya que establece su inspección regular y aclara los límites de continuación del servicio o rechazo (*OCIMF*, 2008, p.218).

Los chicotes de los alambres, debido al roce con los muelles y a la abrasión¹²⁰ resultante del trabajo en torno al grillete que los une a los calabrotes (diseñado específicamente para aminorarla), sufren daños importantes, por lo que, tanto la inversión de sus extremos como la renovación de alguna de sus gazas

¹²⁰ La resistencia de un cable al desgaste es la que se opone a la abrasión del mismo. Dicho desgaste es función de la superficie de apoyo de la gaza del cabo de alambre y de la presión específica en torno al grillete de unión entre las gazas del cabo de alambre y del calabrote.

se han convertido en operaciones frecuentes de mantenimiento con el fin de prolongar su vida útil, las cuales, debido a su complejidad, se realizarán habitualmente en el Astillero de Reparación.

Por este motivo, en los últimos años *NRFF* ha recibido un importante número de buques que han solicitado alguno de los trabajos siguientes:

- Inversión de los extremos de los alambres.
- Renovación de la gaza en uno de sus chicotes.
- Renovación de ambas gazas.

Estas operaciones llevan consigo los pasos descritos a continuación:

9. Sacar de los carreteles de las maquinillas los alambres con el cuidado necesario para que no cojan vueltas.
10. Envío a un taller especializado de las amarras para rehacer las gazas (en el caso de que así se requiera).
11. Volver a estibar las amarras en las maquinillas.

Cada uno de los procesos anteriores resulta mucho más complejo de lo que en principio pueda parecer y varía en gran medida en función de la situación del buque. De esta forma, si el barco está en el dique, es necesario sacar los alambres a la vez que se lleva a cabo la hidrolimpieza del casco, previo al inicio de las tareas de chorreado, con el fin de evitar su contaminación. El montaje de los mismos una vez reparados ha de realizarse cuando se ha finalizado la aplicación de pintura y simultáneamente con el lastrado, motivo por el que se dispone de un tiempo aproximado de 24 horas para volver a estibarlos en los carreteles.

Por el contrario, cuando el buque está en el muelle, el tiempo deja de ser un factor importante y los medios a emplear se convierten en la clave de la operación. La forma más sencilla de adujar correctamente los alambres se realiza con la ayuda de una batea colocada en el costado contrario al de atraque. Por otro lado, dependiendo del plan de amarre y de la previsión meteorológica, bien una parte o la totalidad de las amarras han de ser sustituidas por cabos propiedad del Astillero lo que supone un coste considerable de montaje a la vez que una pérdida de inmovilizado producida por el deterioro de las amarras propias al trabajar sobre las mismas guías dañadas por las amarras de acero.

El riesgo de rotura del sistema de amarre por exposición a condiciones meteorológicas adversas al que se verá sometido el buque durante esta última situación se verá incrementado en gran medida. Cabe citar que en los últimos años esta operación ha coincidido con una alerta roja por viento del oeste durante los días 26 y 27 de febrero de 2010 con el LNG OGUN atracado en el muelle 14 y otra naranja por viento del sur, el 8 de abril de 2013, con el LNG CAPRICORN atracado en el muelle 11 de Fene. Es decir, en ambos casos, el viento anunciado soplaba desde tierra y de través. La mejora de este proceso se convertirá, por lo tanto, en una acción mitigadora del riesgo en sí misma.

8.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Las disposiciones de amarre de los buques gaseros, debido a su gran francobordo, han de ser capaces de soportar unas fuerzas generadas por el viento superiores a las que actúan sobre los petroleros, lo que se traduce en el montaje de un mayor número de amarras y/o el incremento del diámetro de las mismas. Esta última magnitud, como adelantamos en el capítulo 2, está limitada por las posibilidades del manejo de las líneas y la propia *OCIMF* recomienda que no se sobrepasen los 44 milímetros de diámetro cuando no se prevea el uso de dispositivos de cobrado especiales en la terminal de descarga (*OCIMF*, 2008, p. 43).

La realización de nuevas gazas en los alambres no plantea mayores problemas cuando su diámetro no supera los 38 milímetros ya que en la ciudad próxima de A Coruña, el taller “*Cables y Eslingas*” posee los medios suficientes para ello. Sin embargo, cuando se utilizan medidas mayores (tal es el caso de la mayoría de los gaseros) solamente se dispone en la actualidad de dos posibles alternativas:

12. Envío de las amarras a un taller situado en Barcelona dedicado a la fabricación de alambres y estachas que obliga a la realización de un transporte que supone una gran demora.
13. Elaborar las nuevas gazas en las instalaciones de otro fabricante de cabos de alambre y sintéticos, situado en Oporto.

Es importante destacar que ambas instalaciones dedican su actividad principal a la fabricación de amarras nuevas que les obliga a disponer de los medios necesarios para realizar las gazas. Sin embargo, este tipo de trabajo está lejos de constituir una línea comercial de interés y los plazos de entrega exigidos por nuestra empresa generan un problema en la organización de la producción, por lo que el servicio prestado no puede considerarse del todo satisfactorio. A modo de ejemplo cabe citar que esta tarea se acomete en la fábrica de Oporto solamente durante los fines de semana.



Figura 8.39 Prensa Gerro, modelo E 90/47. Fuente: Autor

El proceso de montaje de un terminal de aluminio que asegure la gaza se realiza en este último taller con la ayuda de una prensa de 1000 tons de fuerza diseñada expresamente para este fin (figura 8.39) de la marca GERRO, modelo E 90 / 47, compuesta por un cilindro hidráulico inferior accionado por una unidad electro-hidráulica montada sobre un polín común a ambos.

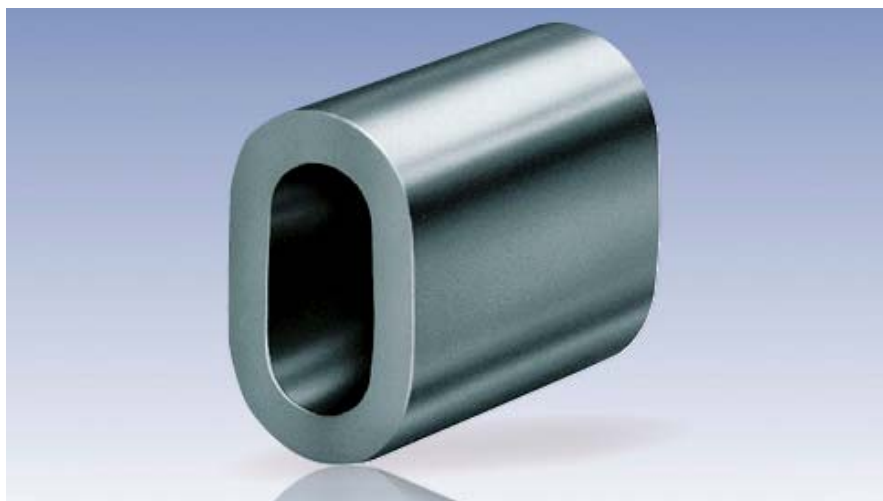


Figura 8.40 Terminal de aluminio tipo T. Fuente: <http://www.tecni-cable.co.uk>

El conjunto unidad hidráulica – prensa tiene unas dimensiones aproximadas de 2,5 metros de largo, 1,5 metros de ancho y unos 2 metros de altura. Aunque es una máquina muy antigua, el fabricante de la prensa sigue operativo y utiliza prácticamente el mismo diseño en la actualidad (www.gerro.com).

Los terminales empleados (figura 8.40) son suministrados por el mismo fabricante y se encuentran estandarizados de acuerdo a dos parámetros: el tipo de casquillo, que en nuestro caso es de paredes internas rectas (tipo T), especialmente recomendado para alambres de acero galvanizados o recocidos, y por el diámetro del alambre que, de forma general, corresponde al modelo T-44 para diámetros menores de 40 y T-48 para aquellos comprendidos entre 40 y 44 milímetros.

Las dimensiones de los casquillos y el rango de diámetros que puede albergar cada uno de los tipos se encuentran regulados por la norma EN 13411-3. La tabla de la figura 8.41 permite calcular el tamaño de casquillo en función del diámetro del alambre y de su estructura de fabricación.

Aparte de Gerro, existen en el mercado otros fabricantes de casquillos que siguen la misma norma de referencia:

14. SAHM Splicing (www.sahm-splice.com/es/).
15. Mak Kee International (www.makkee.com).
16. SWR - Steelwirerope (www.steelwirerope.com).

Algunos de ellos ofertan también la prensa para su montaje.

DIAMETRO DEL CABLE (mm)			ALMA TEXTIL	ALMA METÁLICA Y ANTIGIRATORIOS DE FILAMENTOS REDONDOS	ALMA METÁLICA, ANTIGIRATORIOS Y DISPOSICIÓN PARALELA	CABLES EN GENERAL (2 CASQUILLOS)
d	min.	máx.	$C \geq 0,283$	$C \leq 0,478$	$0,478 < C < 0,613$	$C \leq 0,613$
38	37,9	37,9	38	40	40	44
	38,0	39,9			44	
40	40,0	42,0	40	44	48	48
44	42,1	43,9	44	48	48	48
	44,0	46,2			52	
48	46,3	47,9	48	52	52	52
	48,0	50,4			56	
52	50,5	52,9	52	56	56	60
	52,0	54,6			60	
56	54,7	55,9	56	60		
	56,0	58,8				
60	58,9	59,9	60			
	60,0	63,0				

Figura 8.41 Casquillo a emplear en función del diámetro del cable de acuerdo con la norma EN-12411-3. Fuente: <http://www.sahm-splice.com>. Figura: Autor

La prensa mencionada anteriormente permite el montaje de un troquel dividido en dos mitades y adaptado al modelo de casquillo a utilizar (figura 8.42), para lo que se fija la primera de ellas en el extremo del cilindro hidráulico y la segunda en la parte verticalmente opuesta al mismo. Ambas mitades del troquel se aseguran transversalmente a su respectivo soporte por medio de 4 tornillos que impiden su movimiento. El cambio de este útil es un proceso sencillo en el que no se invierten más de 15 minutos. Una vez montado el troquel correspondiente al diámetro del alambre donde se va a realizar la gaza, se impregnan ambas caras interiores con aceite con la ayuda de un pincel¹²¹, se posiciona entre las mismas el casquillo de aluminio, manteniendo el eje mayor en posición vertical (tal como representa la figura 8.40) y se fija con una ligera presión hidráulica sobre la prensa.

A continuación, se deshacen un par de vueltas de la bobina del alambre y se marca de acuerdo a la longitud de gaza requerida. Pasando el chicote por el interior del casquillo, se conforma la gaza volviendo a pasar el mismo en la dirección contraria.

¹²¹ Gerro suministra una grasa especial para el apriete del casquillo.



Figura 8.42 Troquel intercambiable de acuerdo al tamaño del casquillo a utilizar. Fuente: Autor

Una vez comprobada que la disposición es la correcta (la marca coincide con el extremo del casquillo y el chicote sobresale lo especificado), se vuelve a hacer pasar aceite hacia el cilindro hidráulico hasta que el manómetro que indica la presión en el interior del mismo llegue a la marca de 1000 toneladas fuerza. En la construcción de cada una de las gazas, sin cambiar el tipo de troquel, se invierten aproximadamente unos veinte minutos.

8.5.2 LA NORMA EN 13411-3

De la lectura de la norma EN 13411-3, aprobada en el año 2004 y revisada en el 2008, podemos resaltar, a modo de resumen, los puntos siguientes:

- El material de fabricación de los casquillos está regulado por otra norma (EN 515) y el fabricante de los mismos está obligado a entregar un certificado donde se refleje que la colada es conforme a ésta.

En la norma se estandarizan las dimensiones y tolerancias de los casquillos antes de su prensado.

- Se establece un protocolo de pruebas para los fabricantes de casquillos y troqueles.
- Especifica que ambas mitades del troquel han de tocarse al final del proceso de prensado.
- Define el tamaño del casquillo a utilizar (de acuerdo a la figura 8.41) en función de la estructura del cable (alma textil o metálica, cables antigiratorios o formando una disposición paralela).
- Indica la longitud que ha de sobresalir el chicote libre del casquillo.
- Proporciona una tabla de comprobación de los casquillos una vez prensados indicando diámetros y tolerancias (la fabricación de un escantillón agilizaría el proceso de comprobación final).

Es importante destacar que por el hecho de que el alambre que se está manipulando no sea nuevo, no puede ofrecerse otro certificado más que el del seguimiento estricto de la norma de referencia y el cumplimiento de las especificaciones de fabricación de los casquillos.

8.5.3 VIABILIDAD TÉCNICA PARA REALIZAR EL PROCESO EN NAVANTIA

A la vista del procedimiento descrito, no parece complicada la posibilidad de realizar todo el proceso dentro de nuestra empresa, lo que permitiría incrementar considerablemente el control del mismo, del que se derivarían las ventajas siguientes:

17. Dejaría de ser necesaria la sustitución de la totalidad de las amarras en una única operación debido a la posibilidad de su realización de forma progresiva durante la estancia del buque en reparación.
18. Permitiría, en el caso de la existencia de un aviso de fenómenos meteorológicos adversos, la paralización del proceso y la reprogramación del trabajo.

Para ello, distinguimos dos alternativas posibles:

Alternativa 1

Consiste en la compra de una prensa, nueva o usada, de características similares a la descrita. Habrá de poseer una capacidad de prensado de al menos 1000 toneladas para poder trabajar con los alambres de 44 milímetros de diámetro.

La posibilidad de montarla sobre un contenedor cubierto, transportable tanto con carretilla elevadora como con grúa, permitiría su montaje en las proximidades del noray donde se encuentre encapillada la amarra. De esta forma, arriando desde la maquinilla de a bordo, se podría trabajar individualmente en cada uno de los cabos, sin necesidad de comprometer la disposición general del amarre.

Tal y como se ha indicado anteriormente, cuando fuese necesario la inversión de los extremos de los alambres, se ha de utilizar una batea para adujarlos correctamente. Con el montaje de la prensa a bordo de la misma, ambas gazas pueden realizarse de forma sencilla. La operación de girar 180° la bobina, anterior a la estiba del alambre, puede realizarse con el auxilio de otra maquinilla del buque de la misma zona de maniobra.

Alternativa 2

Más económica que la anterior, consiste en la compra de los troqueles indicados para los casquillos T-44 y T-48 y el uso de la única prensa disponible en el Astillero de más de 1000 toneladas¹²² que se

¹²² Cilindro horizontal *Hugh Smith* de 1500 tons de capacidad.

encuentra en el nuevo taller de bloques curvos del Astillero de Fene (figura 8.43). Las gazas de los alambres menores de 38 milímetros de diámetro podrían enviarse a “Cables y Eslingas”.



Figura 8.43 Prensa de 1500 tons. Fuente: Autor

Esta máquina ha sido diseñada para el plegado de chapas de acero. Sin embargo, existen precedentes en los que se le ha acoplado un dispositivo de adaptación para su uso como troqueladora (figura 8.44) con el fin de prefabricar mamparos corrugados. De decantarnos por esta opción, sería necesario construir una pieza de transición entre el troquel y la prensa.

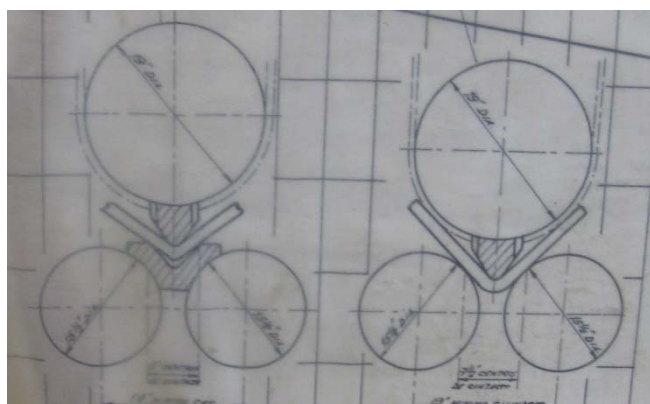


Figura 8.44 Uso de la prensa como troqueladora. Fuente: Autor

La prensa está habilitada con un control de presión (calibrado en toneladas de fuerza) y otro de desplazamiento (figura 8.45), que deberían ser resultar suficientes para realizar el trabajo solicitado.



Figura 8.45 Control de movimiento y fuerza de la prensa. Fuente: Autor

En la actualidad, esta máquina se encuentra en situación de mantenimiento de preservación¹²³ ya que no es necesaria para la producción. Sin embargo, está operativa y su puesta en servicio se limitaría al relleno de sus tanques de aceite.

Como contrapartida, la elección de esta alternativa implica los costes siguientes:

- Desmontaje completo de las amarras, adujado y traslado al taller.
- Costes de operación de la prensa.

Sin duda, la alternativa 1 permite una mayor autonomía y ofrece una mínima interferencia con otros trabajos que hubieran de realizarse a bordo de forma simultánea. Aunque supone una mayor inversión, reduce los costes derivados del adujado y zunchado de las bobinas ya que, debido a las exigencias del transporte (no puede sobrepasar el diámetro de la caja del camión) y del taller de recepción (ambos chicotes han de ser accesibles), son muy elevados.

8.5.4 VIABILIDAD ECONÓMICA

Con el fin de estudiar la viabilidad económica de ambas alternativas, será necesario conocer los importes siguientes:

- Coste de una prensa nueva o de ocasión de al menos 1000 toneladas de fuerza que disponga de los troqueles T-44 y T-48 (alternativa 1).
- Coste de los troqueles T-44 y T-48 (alternativa 2).
- Coste unitario de ambos tipos de casquillo y de la grasa especial para la operación de prensado (común a ambas alternativas).

¹²³ Cuando se aplica el Mantenimiento de Preservación, la lista de tareas a realizar no es tan exhaustiva como cuando se encuentra en operación.

El Departamento de Aprovisionamientos de *NRFF* solicitó oferta a varios suministradores posibles y una vez analizadas las mismas, eligió la de GERRO como la más interesante, ya que ofrece la garantía de una amplia experiencia en el mercado, suministra también los casquillos y tiene su base en Europa, lo que facilita las gestiones y la atención a posibles averías, al mismo tiempo que la diferencia económica con el resto no es importante. Dicha oferta puede encontrarse en el Anexo 8.12.

Una vez conocido el coste de los nuevos equipos, será necesario calcular el ahorro obtenido en cada operación, que resultará diferente dependiendo de la alternativa elegida. La primera de ellas evita los transportes ya que todos los trabajos se realizan *in situ*. Sin embargo, la segunda requiere el movimiento de los cabos de amarre desde el buque al taller de Aceros de Fene.

El coste de la mano de obra necesaria en cada una de las opciones es también distinto. Mientras que la alternativa 1 supone un ahorro al facilitar en gran medida el trabajo y, por lo tanto, permitir su realización empleando menos tiempo, la alternativa 2 incrementa los gastos debido a la necesidad de mantenimiento de la prensa y al mayor coste/hora del personal de Navantia que opera el taller.

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Coste de la inversión	63.329 €	12.000 €
Ahorro transporte por operación	3.000 €	2.000 €
Ahorro mano de obra por operación	1.000 €	-1.500 €
Número de operaciones anuales	2	2
Ahorro anual	8.000 €	1.000 €
PRI	8 años	12 años

Figura 8.46 Cálculo aproximado del PRI de ambas alternativas. Fuente: Autor

La tabla de la figura 8.46 calcula el *PRI*¹²⁴ aproximado para cada una de las alternativas, sobre la previsión de la realización de dos cambios de amarras anuales, en consonancia con los registros históricos obtenidos en los últimos años.

Los períodos de recuperación resultantes (8 y 12 años) distan de ser atractivos para acometer la inversión desde Navantia como consecuencia, fundamentalmente, de la reducida ocupación esperada.

Sin embargo, una vez hecho el análisis, se abre la posibilidad de impulsar la inversión a través de una compañía auxiliar que pueda ofertar el mismo trabajo a otros posibles clientes de la zona con el fin de incrementar su rentabilidad y, en consecuencia, reducir el *PRI*.

Desde el punto de vista de *NRFF*, esta opción posee un valor añadido similar a las analizadas anteriormente ya que el objetivo fundamental es el de disponer del servicio con el fin de satisfacer las

¹²⁴ El PRI, o Periodo de Recuperación de la Inversión, mide el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su coste o inversión inicial. Cabe destacar que, debido al carácter aproximado del cálculo realizado, no se han tenido en cuenta ni la depreciación del activo ni los intereses financieros.

demandas de los armadores a la vez de mejorar la seguridad de las operaciones, independientemente de la titularidad de la maquinaria empleada.

Conversaciones mantenidas con la empresa BOTAMAN (una de las entidades autorizadas por la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao para el amarre de buques en los muelles de su jurisdicción y, por tanto, afín a estos trabajos) han dado como fruto, tras un análisis en profundidad de la viabilidad de prestación de este nuevo servicio, su compromiso de adquisición de la mencionada prensa y su puesta a disposición con anterioridad al otoño de 2014.

CAPÍTULO IX: GESTIÓN DE LA EMERGENCIA

9.1 INTRODUCCIÓN

El Manual del Sistema de Prevención de Riesgos Laborales de Navantia Ría de Ferrol, fiel a la norma OHSAS 18001¹, establece, en su capítulo 15, la obligación de identificar aquellas situaciones que pudieran dar lugar a una emergencia, así como de establecer los procedimientos de actuación adecuados con el fin de prevenir y mitigar los posibles efectos negativos contra la salud generados como consecuencia de las mismas. Derivado de ello, se han desarrollado los siguientes procedimientos (disponibles íntegramente en el Anexo 9.1) relacionados con el tema que nos ocupa:

1. Plan de Autoprotección y Emergencia (FR-PE-01 para el centro de Ferrol y FN-PE-01 para el centro de Fene).
 - Identifica los riesgos que pudieran dar lugar a una emergencia.
 - Relaciona las sustancias peligrosas que se encuentran en el interior de las instalaciones.
 - Realiza un inventario de medios humanos y materiales de contención.
 - Establece un protocolo de activación y lucha contra la emergencia en función del agente que la haya provocado, incluyendo la evacuación total o parcial de las instalaciones.
 - Designa las figuras de la dirección técnica de la emergencia, jefe de intervención operativa y componentes del Comité Asesor de Emergencias (COASE).
 - Identifica las funciones y responsabilidades del personal clave en la lucha contra la emergencia.
 - Establece los canales para su difusión y formación a todo su personal.
2. Plan de Emergencia de buques en Reparación (I-PRL-RF-007-SL-08): Mantiene la misma estructura que el anterior teniendo en cuenta la identificación de los riesgos característicos y la coordinación con la tripulación del buque.
3. Plan Interior de Contingencia por Contaminación Marina Accidental (PIC-PE-RF-001)
 - Identifica y clasifica zonas de riesgo de contaminación al mar dentro de las instalaciones.
 - Establece distintos niveles de actuación en función de la gravedad del suceso
 - Designa los componentes del Comité de Dirección, Comité Técnico Asesor y Grupos de Apoyo y Respuesta.
 - Realiza un inventario de medios humanos y materiales de contención y define su mantenimiento.

¹ OHSAS es el acrónimo de *Occupational Health and Safety Management System* (Sistema de Gestión para la Seguridad y Salud en el trabajo).

- Indica los pasos a seguir cuando la emergencia no puede ser controlada con los medios propios.
4. Protocolo de Actuación ante Inclemencias Meteorológicas (I-PRL-RF-007-SL-01) cuyo fin es el de garantizar una respuesta adecuada a los niveles de alerta (amarillo, naranja y rojo) anunciados por la Agencia Estatal de Meteorología de acuerdo con el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos (Meteoalerta). El Plan de Autoprotección y Emergencia cita explícitamente que, en caso de inclemencia meteorológica prevista o acontecida repentinamente, se actuará según este Protocolo.

Las actuaciones que se deriven de la recepción de una alerta meteorológica han de ser acordes con los planes mencionados teniendo siempre presente su sistemática y organización.

A lo largo del presente capítulo trataremos de implementar aquellas mejoras o lecciones aprendidas desarrolladas en el transcurso de este trabajo utilizando como base el mencionado Protocolo. Además, intentaremos identificar con espíritu crítico aquellas fases de la gestión de la emergencia que, a nuestro juicio, requieren ser modificadas, de acuerdo a la estructura siguiente:

- Recepción de la alerta y procedimiento de actuación según el nivel de predicción.
- Comité de Emergencia.
- Comunicaciones y Seguimiento de la emergencia.
- Coordinación con planes de rango superior.
- Lista de comprobación general.

9.2 RECEPCIÓN DE LA ALERTA Y PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN DE ACUERDO AL NIVEL DE PREDICCIÓN

En el capítulo 7 de este estudio se ha identificado una mejora clara en el sistema de recepción y difusión de las alertas con relación al mencionado en el Protocolo. Transcurridos más de dos años desde su puesta en servicio en el ámbito de la Unidad Productiva de Reparaciones, podemos asegurar que el resultado es muy satisfactorio y debe extenderse al resto de las Unidades Productivas de Navantia Ría de Ferrol. Es conveniente, sin embargo, el mantenimiento de los canales de comunicación tradicionales que se especifican en el Protocolo como medida de seguridad en caso de fallo del programa, del correo electrónico, o cualquier otra incidencia que pudiera interrumpir la recepción automática.

Los niveles de aviso relacionados en el Protocolo coinciden con los establecidos por *AEMET* en el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia y, en función de los mismos, se establece una guía de actuación de gran utilidad para determinar la interrupción de aquellos trabajos cuya ejecución estuviese programada durante el periodo de alerta, tal y como muestra la tabla de la figura 9.1.

VELOCIDAD MEDIA (km/h)	RESTRICCIONES
Hasta 25	Ninguna
25 - 36	Trabajos con cestas suspendidas condicionados a su ubicación
> 36	Prohibición de trabajos en cestas suspendidas, plataformas elevadoras, tejados y andamios exteriores. Sujetar andamios.
> 54	Prohibición de trabajos con grúas exteriores. Grúas paradas, con pluma orientada al viento en radio medio y libre
> 72	Prohibición de trabajos en cubierta
> 86,4	Obligación de amarre de traslación de grúas y veleta en giro
> 90	Prohibición de desplazarse por la cubierta de barcos
> 140	Prohibición de realizar cualquier tipo de trabajo en el exterior

Figura 9.1 Prohibición de trabajos en función de las velocidades medias del viento. Fuente: NRFF

Cuando la alerta anunciada corresponda a los niveles amarillo y naranja, es responsabilidad de cada Unidad Productiva (Astillero, Turbinas y Reparaciones) el análisis de las tareas previstas y su posible implicación con el viento anunciado, especialmente en lo referente a trabajos con grúas y en alturas.

Para facilitar esta labor, Navantia Ría de Ferrol ha instalado recientemente un sistema de información meteorológica compuesto por cuatro estaciones (Aceros y Turbinas en el centro de Ferrol y Grúa Pórtico y Astillero en el centro de Fene) que, en tiempo real, envían información de los parámetros siguientes:

- ✓ Velocidad del viento.
- ✓ Dirección del viento.
- ✓ Temperatura.
- ✓ Presión absoluta.
- ✓ Humedad y punto de rocío.

Las señales generadas por cada una de las estaciones se reciben en un ordenador central y se gestionan por medio de una aplicación informática denominada “*Meteonet*”, obteniéndose su registro, presentación en forma de gráfico o medición instantánea y distribución a los usuarios autorizados a través de la red interna.

Aparte de la utilidad que supone el conocimiento de los parámetros mencionados para la evaluación del riesgo en cada momento, los gráficos presentados resultan de gran ayuda cuando se comparan con los correspondientes a la previsión, ya que indican claramente la evolución de la velocidad del viento en función de la presión atmosférica.

A modo de ejemplo, si comparamos el registro mostrado en la figura 9.2 (medidas reales tomadas el día 14/12/12) con el correspondiente a la predicción realizada por Meteogalicia el día anterior (figura 9.3), observaremos como el valor mínimo de presión atmosférica coincide con el valor máximo del viento, indicando el paso del centro de la borrasca y su disminución progresiva a partir de ese momento.

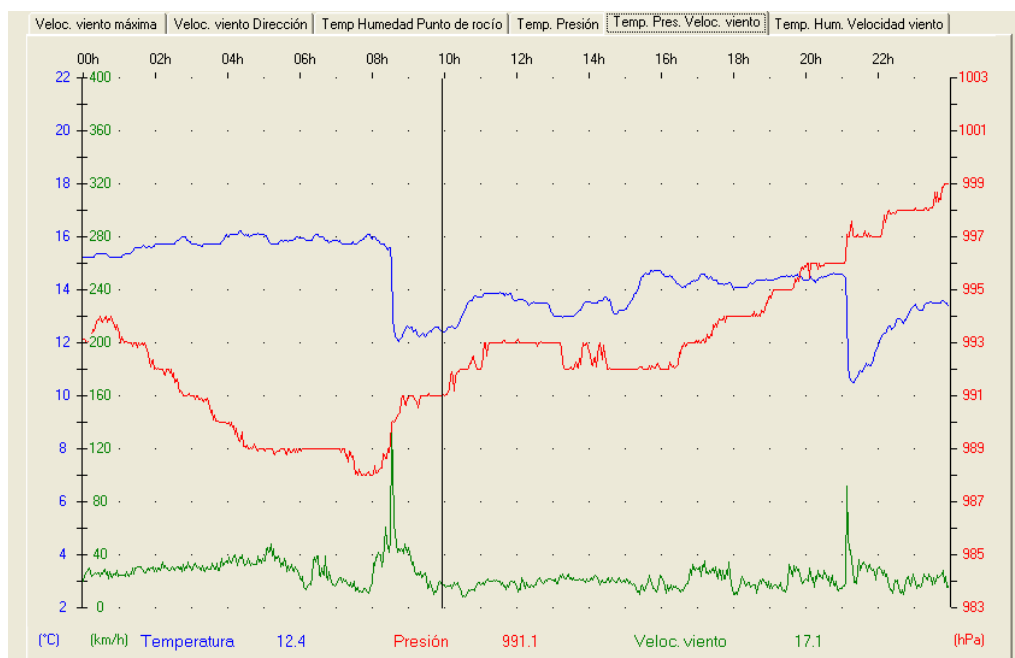


Figura 9.2 Registro de presión, velocidad de viento y temperatura del día 14 de diciembre del 2012. Fuente: NRFF

Por lo tanto, *Meteonet* se constituye en una herramienta de incalculable valor al ser capaz de soportar, a través del seguimiento de los parámetros meteorológicos, una decisión de tanta responsabilidad como la autorización o prohibición de aquellos trabajos cuyo análisis de riesgos pudieran verse afectados por la alerta.

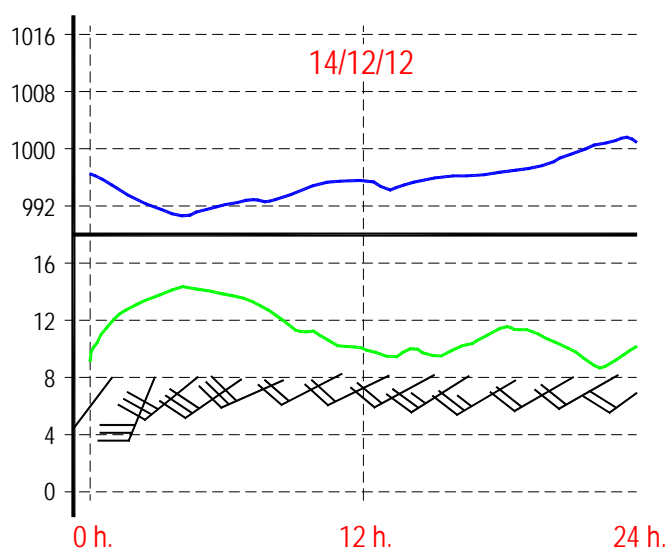


Figura 9.3 Detalle del gráfico de predicción de presión y velocidad del viento de Meteogalicia. Fuente: NRFF

9.3 COMITÉ DE EMERGENCIA

Cuando la alerta anunciada corresponde a nivel rojo, el Protocolo afronta su tratamiento de forma totalmente diferente, estableciendo la obligatoriedad de la formación del denominado Comité de Emergencia que, integrado por los cargos directivos de la empresa, tiene como misión la toma de decisiones de alto nivel, además de la relación institucional con la Administración Local y la atención a los Medios de Comunicación.

Este Comité estará presidido por el Consejo de Dirección, integrado por los directores de las tres Unidades Productivas del Astillero y auxiliado en sus decisiones por:

- El Director Técnico de la Emergencia, también llamado Coordinador de Operaciones, cuya figura corresponde al Jefe de Prevención y Medio Ambiente.
- El Comité Técnico Asesor (COASE).

De acuerdo al protocolo, las funciones del Comité de Emergencia son las siguientes:

- Dirigir y coordinar las actuaciones de emergencia.
- Ordenar la evacuación, total o parcial, de las instalaciones.
- Solicitar las ayudas exteriores que se estimen necesarias.

COMITÉ DE EMERGENCIA

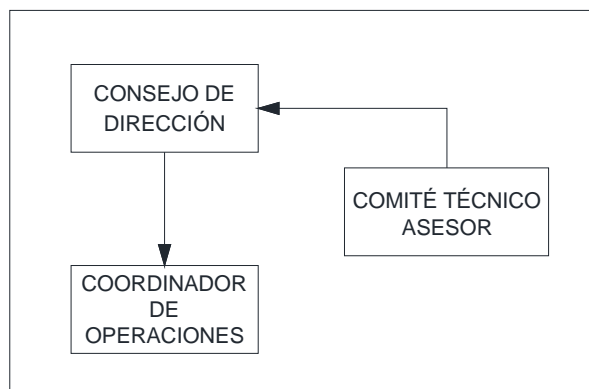


Figura 9.4 Composición del Comité de Emergencia. Fuente: Autor

Este Comité se reunirá una vez emitida la alerta con el fin de evaluar su gravedad y definir una serie de medidas preventivas de aplicación inmediata para la continuación de los trabajos, tales como:

- Comprobación permanente de los valores del viento.
- Comunicación de la alerta a todo el personal.
- Preparación de equipos adicionales de rescate independientes de las grúas.
- Disposición de grúas y personal encargado de montar andamios en caso necesario.

- Refuerzo de amarras y revisión de planchadas de acceso a los buques.
- Difundir la recomendación de evitar la circulación por el exterior.
- Sujeción de aquellos elementos susceptibles de ser arrastrados por el viento.

Si bien el Protocolo parece adecuado para las instalaciones fijas del Astillero, tales como talleres y oficinas, su ámbito de aplicación es incompleto por no considerar aquellas obligaciones identificadas en el capítulo 3 en relación con los buques que en ese momento se encuentren ocupando los diques y muelles.

Es por ello que, con carácter previo, resulta necesario establecer ciertas herramientas básicas que faciliten el correcto análisis de la situación. En las líneas siguientes afrontaremos su desarrollo con el propósito de reducir en lo posible la improvisación.

9.3.1 DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN

El Comité de Emergencia ha de conocer la situación de cada uno de los buques que se encuentran en el Astillero, tanto en los diques, como en los muelles. Para ello, es recomendable la elaboración de una lista de comprobación que no deje ningún elemento importante en el olvido.

De cada uno de los barcos (incluyendo aquellos que no fuesen responsabilidad directa de Navantia, tales como las unidades de la Armada Española), hemos de conocer el muelle donde se encuentra, número y tipo de amarras que lo sujetan y datos de contacto vía teléfono, correo electrónico, satélite y fax con el fin de asegurar la transmisión de la alerta a su capitán y tripulación así como el establecimiento de un canal de comunicación (si es posible de forma escrita, para facilitar su registro).

La integración de estos datos en un gráfico de disposición de muelles será de gran ayuda para evaluar el riesgo en función de la evolución prevista del viento. A tal fin, se han desarrollado los documentos incluidos en el Anexo 9.2 con el propósito de disponer, en una vista única de la posición y contactos de cada buque.

Una vez conocida la situación general, podrán definirse prioridades de actuación para el estudio y disposición de amarres de emergencia utilizando el programa desarrollado en el capítulo 5 de este trabajo, en función del tamaño del buque, riesgo de exposición al viento, etc. Estos cálculos, siguiendo las recomendaciones de la Asesoría Jurídica indicadas en el capítulo 3, han de ser entregados al capitán del buque en cuestión para su conocimiento y aprobación.

9.3.2 DESARROLLO DEL ORGANIGRAMA DEPENDIENTE DEL COMITÉ DE EMERGENCIA

De forma similar al Plan Interior de Contingencias por Contaminación Marina y con el fin de asegurar la disponibilidad y coordinación de los recursos humanos que pudieran necesitarse para dar adecuada respuesta a la Emergencia, se habrán de definir los cargos que integrarán tanto el Comité Técnico Asesor

como los diferentes Grupos de Respuesta, de acuerdo con los esquemas indicados en la figuras 9.5 y 9.6, contemplando también la posibilidad de su organización en turnos de trabajo en caso necesario.

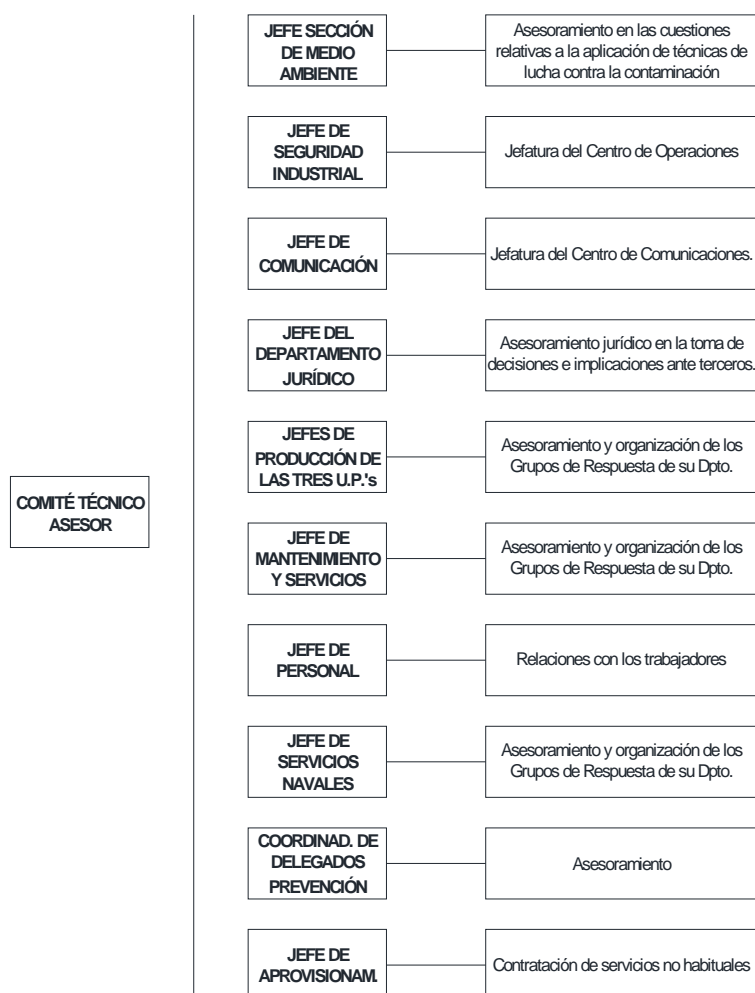


Figura 9.5 Composición y funciones del Comité Técnico Asesor. Fuente: Autor

El Comité Técnico Asesor tiene como misión el asesoramiento al Consejo de Dirección y el apoyo en su toma de decisiones tanto en aspectos técnicos y jurídicos como económicos. Estará compuesto por los cargos relacionados a continuación que se mantendrán a disposición del Consejo según sean requeridos (figura 9.5):

- Jefe de Medio Ambiente.
- Jefe de Seguridad Industrial.
- Jefe de Comunicación y Relaciones Institucionales.
- Jefe del Departamento Jurídico.
- Los Jefes de Producción de las tres Unidades Productivas (Astillero, Turbinas y Reparaciones.
- Jefe de Mantenimiento y Servicios.

- Jefe de Personal.
- Jefe de Servicios Navales de Astillero.
- Coordinador de los Delegados de Prevención.
- Jefe de Aprovisionamientos.

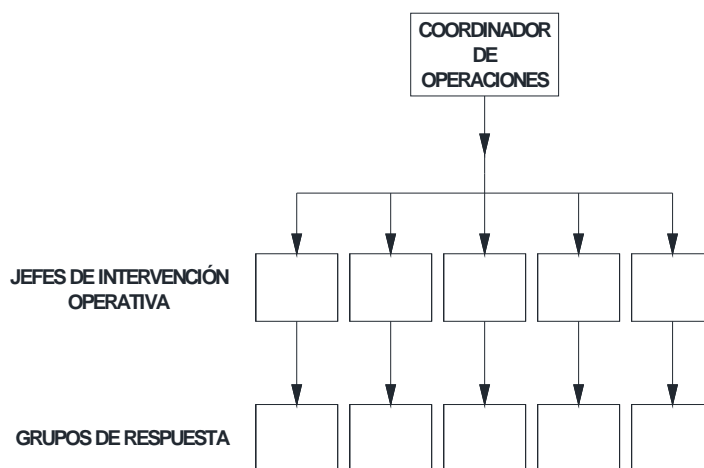


Figura 9.6 Organigrama de Operaciones. Fuente: Autor

En el seno del Comité de Emergencias se decidirá la conveniencia de la intervención de los Grupos de Respuesta que se estimasen necesarios, en función de las características y gravedad de la Emergencia. Cada uno de estos grupos estará liderado por un Jefe de Intervención Operativa cuyo nombre y contacto debe figurar en el Plan. Se designará, asimismo, un suplente para cada uno de ellos.

Habrán de establecerse, como mínimo, los Grupos de Respuesta siguientes:

- Marineros de Astillero.
- Marineros de Reparaciones.
- Bomberos.
- Seguridad Industrial.
- Mantenimiento.
- Auxilios a la Producción.
- Servicios Médicos.

9.3.3 CENTRO DE CONTROL DE LA EMERGENCIA

A fin de mantener una comunicación fluida y facilitar la toma de decisiones, se integrarán en el mismo espacio físico, bajo la dirección del Jefe del Departamento de Seguridad Industrial, tanto el Control Operativo de la Emergencia como la base del Consejo de Dirección y el Centro de Comunicaciones. Para ello, se ha preparado una sala del edificio denominado Casa del Astillero con capacidad para albergar a más de cien personas, dotándola de los medios relacionados a continuación:

- Conexión a la red interna de datos con posibilidad de la conexión simultánea de 10 ordenadores portátiles que permite:
 - El acceso al programa de gestión de las cámaras de vigilancia de Astillero y Reparaciones.
 - La consulta de la aplicación “*Meteonet*” para conocimiento de los valores actuales e históricos de los parámetros de información meteorológica relacionados en la sección 9.1.
 - Acceso al correo electrónico.
 - Acceso a Internet con el fin de realizar un seguimiento de las previsiones de la evolución del episodio meteorológico.
- Equipo constituido por proyector y pantalla para facilitar la toma de decisiones conjunta.
- Conexión telefónica exterior con 10 líneas independientes asociadas al mismo número.
- Equipo de fax con línea de conexión independiente.
- Generador autónomo de corriente para la alimentación del Centro de Control y Comunicaciones en caso de fallo de la red eléctrica.
- Emisora de banda marina de potencia suficiente para comunicarse con los buques amarrados en el centro de Fene.
- Emisora para comunicación con los *walkie-talkies* internos.
- Equipo portátil de videoconferencia.

9.4 COMUNICACIONES Y SEGUIMIENTO DE LA EMERGENCIA

La gestión de las comunicaciones antes y durante la emergencia es un factor preventivo clave y, como tal, no debe dejarse abierto a la improvisación. El Consejo de Dirección debe impulsar la difusión de la alerta recibida así como las recomendaciones básicas a seguir a todas las personas que puedan encontrarse dentro de las instalaciones.

En primer lugar, habrá de extenderse al personal propio. La vía de comunicación habitual para ello es el correo electrónico difundido a través de la línea de mando, quienes lo harán extensivo a todos y cada uno de los trabajadores. La responsabilidad de la divulgación interna de la alerta recae en el Jefe del Departamento de Seguridad Industrial.

En segundo lugar, se habrá de asegurar que los buques amarrados o varados en los diques de Navantia Ría de Ferrol sean también conocedores de la situación. Con este fin, utilizando las vías de comunicación establecidas en la lista de comprobación del Anexo 9.2, hemos de trasladar a cada uno de los capitanes una carta oficial donde se aporte la siguiente información:

- Parte oficial de la alerta, donde se incluyan la dirección y velocidad del viento estimado y horas de comienzo y fin.

- Recomendaciones preventivas generales, tales como evitar la circulación por el exterior, sujeción de elementos susceptibles de ser arrastrados por el viento, etc.
- Transmitir la necesidad de realizar por parte del mando del buque la evaluación de la situación para hacer frente a la alerta en cuanto a número y disposición de amarras, defensas y accesos, así como las acciones de contingencia sugeridas en las que pueda auxiliar el Astillero, de acuerdo con las obligaciones identificadas en el capítulo 3.
- Informar de la constitución del Comité de Emergencia.
- Establecer los canales de comunicación con este Comité y las Autoridades Portuarias.

El Anexo 9.3 contiene un modelo de dicha carta, en versiones inglesa y castellana, preparada para ser enviada una vez que así se haya decidido en el seno del Comité de Emergencias. Adjunto a la misma, se enviarán la notificación de alerta de *AEMET* y el informe del cálculo del amarre en el caso de que esté disponible.

La responsabilidad de la transmisión hacia el exterior de la alerta (Jefatura del Centro de Comunicaciones) corresponde al Jefe del Departamento de Comunicación y Relaciones Institucionales, quién se ocupará, asimismo, de las relaciones con las Autoridades e información a los medios de comunicación en caso requerido.

La tercera notificación a realizar estará dirigida a las Autoridades responsables de un plan de emergencia superior, que, como se identificará en la sección 9.4, podrá corresponder a los Ayuntamientos de Ferrol, de Fene, Autoridad Portuaria o Capitanía Marítima, poniendo en conocimiento de la entidad que corresponda la constitución del Comité de Emergencia, la ubicación del Centro de Control y las vías de comunicación habilitadas. El modelo de la misma puede encontrarse en el Anexo 9.4, sobre la que puede agregarse, en caso necesario, la petición de los contactos actualizados en caso de duda².

A fin de realizar un seguimiento efectivo de la Emergencia, es de vital importancia el mantenimiento continuo de las vías de comunicación con los capitanes de los buques al objeto de que en todo momento se disponga de una información actualizada que plasme sus requerimientos.

Asimismo, la información recibida del sistema de cámaras de vigilancia, los valores obtenidos de “*Meteonet*” y la valoración de la situación procedente de los Jefes de Intervención de cada uno de los Grupos de Respuesta habilitados, permitirá una dirección adecuada.

Por otro lado, no podemos olvidar que para conseguir una gestión de la Emergencia adecuada serán factores claves tanto el conocimiento por parte de sus integrantes de las funciones dentro de cada nivel, como los mecanismos de coordinación con otros, además de la familiarización con los medios disponibles y los procedimientos de actuación.

² En el mismo Anexo 9.4 puede encontrarse una lista con los contactos actualizados a enero de 2013. Esta relación estará sujeta a variaciones en el futuro cuando se establezcan los Centros de Control Operativo debido a que en esa fecha existían Administraciones que no tenían homologado su Plan de Emergencia.

Por ello, necesitaremos incluir en el propio plan la necesidad de efectuar ejercicios periódicos y facilitar la formación específica del personal, especialmente dirigida a los cargos con responsabilidades de gestión de acuerdo al organigrama, en materias tales como la toma de decisiones, formación y dirección de un gabinete de crisis y las técnicas relacionadas con la información y las relaciones públicas, dando cumplimiento al mismo tiempo al R.D. 253/2004 y la Orden FOM/555/2005.

El Comité se verá en la necesidad de afrontar decisiones tan importantes como la petición de auxilio de remolcadores que pudieran tener connotaciones económicas y jurídicas de gran entidad. En este caso, aunque la gestión para la presencia de remolcador pueda realizarse a través del Astillero, la decisión de su necesidad así como las instrucciones de operación deben recaer en el capitán del buque. La presencia de un práctico del puerto en el seno del Comité Asesor puede ser de gran ayuda y ha de valorarse desde el momento de la constitución del Comité de Emergencia, teniendo en cuenta el número de buques que puedan concurrir, las condiciones de amarre y las velocidades de viento previstas.

9.5 COORDINACIÓN CON PLANES DE RANGO SUPERIOR

La dirección y gestión de emergencias es una de las funciones básicas que según la Ley 2/85 (Ley de Protección Civil) y el R.D. 407/92 (Norma Básica de Protección Civil), tienen asignadas las Administraciones Públicas en el marco del cumplimiento de los derechos constitucionales reflejados en los artículos 15 (sobre el derecho a la vida y a la integridad física) y 103 (sobre la eficacia y coordinación administrativa) de la Constitución Española.

Dicha gestión y dirección es una competencia compartida entre las tres administraciones (local, autonómica y estatal) en función de la magnitud y los medios y recursos necesarios para afrontar la emergencia (emergencia ordinaria, extraordinaria o grave riesgo, catástrofe o calamidad pública). De ahí la importancia de articular unos mecanismos correctos de coordinación, tanto en la faceta operativa como en la administrativa, que funcionen sobre un esquema básico como el mostrado en la figura 9.7. De forma similar al Plan Interior de Contingencias por Contaminación Marina Accidental, en el caso de que el Consejo de Dirección estime que no es posible contener la emergencia dentro de los límites de la empresa o el riesgo de hacerlo se evalúe como alto, informará a las autoridades correspondientes para la activación del plan oficial superior.

Una vez realizado este comunicado, la dirección de las operaciones será ejercida por el órgano designado en el plan interior superior correspondiente, integrándose el Consejo de Dirección en el mismo como un órgano de apoyo, aunque mantendrá la dirección operativa de su organización de respuesta. La finalidad básica estriba en la coordinación de los medios de lucha contra la emergencia en función de las prioridades que se establezcan a nivel general.

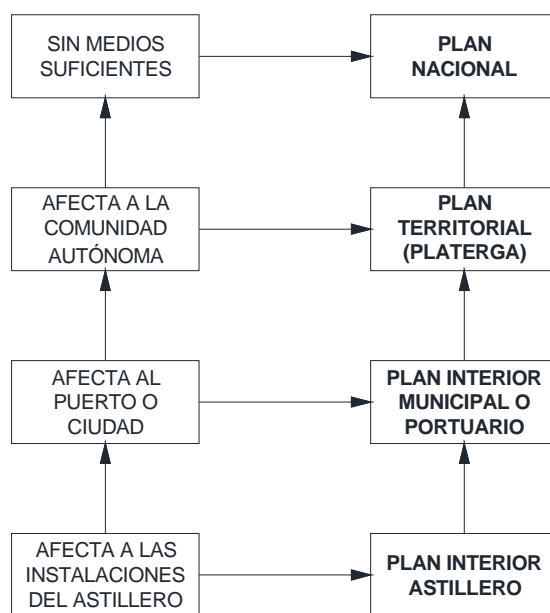


Figura 9.7 Coordinación de planes de emergencia. Fuente: Autor

Debido a que la situación administrativa de Navantia posee un carácter especial, tal como adelantamos en el capítulo 2, por el hecho de que los terrenos donde se asientan sus instalaciones corresponden a diferentes propietarios y se encuentran dentro del ámbito de jurisdicción de dos ayuntamientos distintos, dependiendo del tipo y lugar de la emergencia, el plan interior superior podría ser el habilitado por cualquiera de los siguientes organismos:

- **Ayuntamiento de Ferrol:** Al que compete la parte de las instalaciones situadas en la franja Norte de la Ría.
- **Ayuntamiento de Fene:** Afectado por una emergencia que pueda producirse en el antiguo recinto de Astano (franja Sur de la Ría).
- **Capitanía Marítima de la Zona Marítima de Ferrol,** con responsabilidad tanto sobre los buques atracados en los muelles como sobre los posibles derrames contaminantes que, procedentes de los mismos, pudieran verterse a las aguas de la Ría.
- **Autoridad Portuaria del Puerto de Ferrol,** que es propietaria del terreno donde se asienta la totalidad de las instalaciones de Fene, administrado por Navantia en régimen de concesión con ocupación privativa de dominio público, además de tener responsabilidad sobre los vertidos a la Ría que procedan de instalaciones terrestres.
- **Armada Española,** que posee la titularidad de una parte de los terrenos de la antigua Bazán (franja Norte de la Ría) y comparte la utilización de alguno de los muelles de este centro.

Por todo ello, en caso de producirse una emergencia que no pueda contenerse con la aplicación del Plan Interior propio, será de vital importancia conocer el organismo competente al que acudir. En las siguientes líneas indicaremos las características principales de cada uno de los posibles Planes Interiores de rango superior afectados, así como las vías de comunicación dispuestas para su activación.

El **Plan de Emergencia Municipal (PEMU) de Ferrol** está dirigido por el alcalde y dotado de su propio Centro de Coordinación Operativo Municipal, situado en la primera planta del Cuartel de San Xoán, del que es responsable el edil de Seguridad Ciudadana. Este plan recoge las características generales del territorio del municipio, junto con su cartografía, distribución de asentamiento poblacional y vías de comunicación, catalogando como riesgos de nivel alto los incendios y temporales.

Asimismo, nombra los componentes del Comité Técnico Asesor y de los Grupos de Intervención o Respuesta (Policía Local, Bomberos, Grupo de Acción Sanitaria, etc.).

El plan, que fue dictaminado favorablemente en octubre de 2009 por la Junta Local de Protección Civil y aprobado en pleno del Ayuntamiento en el año 2010, se encuentra pendiente de su aprobación por la Dirección Xeral de Protección Civil de la Xunta de Galicia, por lo que, en la actualidad, no está disponible públicamente. Entretanto, las comunicaciones se dirigirán a:

	TELÉFONO	FAX	CORREO ELECT.
PROTECC. CIVIL	981 320 000	981 320 000	-
AYUNTAMIENTO	981 944 000	981 944 028	alcaldia@ferrol.es

El Gobierno Municipal del **Ayuntamiento de Fene** no tiene habilitado su Plan de Emergencia. Por ello, los contactos se establecerán a través de Protección Civil y la propia alcaldía:

	TELÉFONO	FAX	CORREO ELECT.
PROTECC. CIVIL	663 379 073	981 343 945	proteccioncivil@fenecidadan.net
AYUNTAMIENTO	981 492 707	981 492 788	correo@fene.dicoruna.es

Como se adelantaba en el capítulo 3, la dualidad administrativa **Capitanía Marítima - Autoridad Portuaria** complica de forma significativa el conocimiento del plan superior en la lucha contra la emergencia. Sin embargo, de forma conjunta, han decidido integrar el Plan de Contingencias por Contaminación Marina Accidental dentro del Plan de Autoprotección y Emergencias, dando respuesta a los requerimientos siguientes:

- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales relacionada con la Coordinación de Actividades Empresariales y Protección ante actos antisociales y terroristas.

- R.D. 253/2004 que obliga a la preparación de un Plan de Contingencias por Contaminación Marina Accidental³.
- R.D. 393/2007 sobre la Norma Básica de Autoprotección de los centros dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.

El documento final⁴, realizado sobre la base de un “*Estudio de Seguridad*” encargado a la empresa “MGO”, ha sido editado por la Autoridad Portuaria en diciembre de 2012 para identificar los factores de riesgo y elementos vulnerables que pudieran afectar tanto a las aguas de la Ría de Ferrol como a la Zona de Servicio Portuaria terrestre, entendiendo por ésta el conjunto de instalaciones gestionadas directamente por la Autoridad Portuaria o cedidas a terceros en régimen de licencia o concesión, como es el caso de los Astilleros de Navantia Fene.

Comienza identificando aquellos elementos e instalaciones que pudieran dar lugar a una situación de emergencia (materiales que pudieran sufrir un incendio, explosión o provocar un vertido) o incidir de manera desfavorable en el desarrollo de la misma, y, en función de la probabilidad de ocurrencia, de las consecuencias que se pudieran derivar y de los medios de actuación disponibles, asigna un nivel de riesgo (verde, azul o rojo) para establecer posteriormente las zonas de intervención, alerta y servicio de cada una de las instalaciones. Asimismo, con la ayuda de árboles de sucesos, aporta guías genéricas de actuación para aquellas emergencias de mayor probabilidad⁵.

El plan designa un único Centro de Control de Emergencias (CCE), que coincide con el Centro de Coordinación de Servicios del Puerto (CCS), ubicado en el muelle Espigón Exterior, en el mismo edificio que alberga las oficinas de los Prácticos del Puerto. La Dirección de la Emergencia puede recaer en dos cargos públicos diferentes: El **Capitán Marítimo**, cuando “*un buque o las aguas del puerto se encuentren implicados en la emergencia o en riesgo por ésta*” (la emergencia afecta a un buque), o el **Director del Puerto**, en los restantes casos (la emergencia no afecta a un buque). El contacto oficial con el Centro de Control es el siguiente:

	TELÉFONO	FAX
C.C.E.	981 338 075	981338088

³ El R.D. 253/2004 se refiere específicamente a la contaminación marítima debida a hidrocarburos. En enero de 2014 entró en vigor el R.D. 1695/2012 con el fin de organizar un Sistema Nacional ante la Contaminación Marina teniendo en cuenta aquellas otras sustancias de distinto origen que puedan causar también daños al Medio Ambiente (Plan Marítimo Nacional). Esta nueva disposición no afecta a los planes interiores vigentes, aunque modifica la denominación de cada una de las fases de la emergencia, por lo que, seguramente habrán de ser revisados en el futuro.

⁴ El Plan de Emergencia se encuentra disponible en Anexo 9.5.

⁵ Tal y como se adelantaba en el capítulo 3, es de destacar que, entre los riesgos identificados, no se encuentra la exposición de un buque a fenómenos meteorológicos adversos o la rotura de amarras de éste.

Siguiendo las indicaciones de la Xunta de Galicia para la elaboración de los planes de Autoprotección, se define el organigrama de actuación de cada una de las fases de la emergencia de acuerdo al código representado en la figura 9.8.

FASE VERDE	Emergencia de ámbito local que puede ser controlada desde la zona de Servicio del Puerto o dentro de la Concesión.
FASE AZUL	Emergencia de Zona o local con previsión de extensión al exterior. Son necesarios medios ajenos a la Autoridad Portuaria
FASE ROJA	Las consecuencias sobrepasan el ámbito portuario o su evolución pudiera sobrepasar este límite

Figura 9.8 Clasificación de las fases de la Emergencia. Fuente: Autor

En el caso concreto de nuestro estudio (la emergencia afecta a un buque a flote), la Dirección de la Emergencia de cada una de las fases descritas puede corresponder al capitán del buque, al Capitán Marítimo o a otros órganos superiores, que se estudiarán con más detalle más adelante, en función de la gravedad de la misma. Asimismo, la existencia de un vertido al mar de dimensiones importantes modifica la línea jerárquica de responsabilidades (fase roja), de acuerdo con el esquema representado en la figura 9.9.



Figura 9.9 Dirección de la Emergencia Marítima. Fuente: Autor

El plan se completa con las denominadas fichas de intervención y fichas de actuación ante emergencias. Las primeras definen las responsabilidades y las pautas de coordinación de cada uno de los integrantes del organigrama en función de las características de la misma, mientras que las segundas indican unas

guías básicas de actuación en función del tipo de siniestro y de acuerdo a quince supuestos diferentes (derrame, incendio, explosión, etc.).

Recordemos que las Capitanías Marítimas y los Distritos Marítimos dependen orgánica y funcionalmente del Ministerio de Fomento, a través de la Dirección General de la Marina Mercante que tiene entre sus funciones el salvamento y la lucha contra la contaminación en la mar, de acuerdo con la Ley 27/1992 y su modificación en el R.D.L. 2/2011. Es por ello que, sin perjuicio de la obligación de coordinarse con la Autoridad Portuaria, el Capitán Marítimo es quién debe dirigir las actuaciones marítimas necesarias de lucha contra la emergencia, incluyendo, en el caso de que resulten necesarios, los servicios de la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), también dependientes de la Dirección General de la Marina Mercante.

El hecho de que el Puerto de Ferrol albergue una importante base naval militar del Gobierno de España hace que la **Armada Española** pueda jugar un papel fundamental ante una emergencia en la mar debido a la disponibilidad inmediata de los medios, tanto humanos como materiales, entre los que destacan sus unidades de remolque que han resultado de vital importancia en situaciones vividas en el pasado. Será necesario, por tanto, la inclusión en el plan de los contactos siguientes:

	TELÉFONO
OFICIAL DE GUARDIA	981 338 948
JEFE DE SERVICIO	981 336 203

A modo de resumen de todo lo expuesto, podemos indicar que, si la emergencia se produce en instalaciones terrestres y es previsible que no pueda contenerse con los medios propios, se ha de notificar tanto a la Autoridad Portuaria como al Ayuntamiento afectado. Sin embargo, en el caso de que afecte a un buque, la notificación ha de dirigirse a la Capitanía Marítima, teniendo siempre presente la posible ayuda de la Armada Española.

El esquema mostrado en la figura 9.10 trata de reflejar tanto los planes inmediatamente superiores, correspondientes, por tanto, a la fase azul, como aquellos otros, a nivel de Comunidad Autónoma o del Estado Español, que pudieran activarse por una alerta roja debida a fuertes vientos, vertido a la Ría o emergencia en un buque a flote.

Cuando se requiera la activación del Plan Nacional debido a una emergencia en la mar, el Centro Oficial de Operaciones será el Centro Nacional de Coordinación de Salvamento de Madrid, que dispone, en la Comunidad Gallega de los Centros de Coordinación de A Coruña, Finisterre y Vigo. La Dirección del Plan corresponderá al Director General de la Marina Mercante y la Coordinación de Operaciones al Capitán Marítimo de la Zona afectada.

En virtud de los Convenios de Colaboración suscritos entre la Dirección General de la Marina Mercante y diversos Organismos del Estado y otras Instituciones, formarán parte del Plan Nacional y, por tanto, de los Grupos de Respuesta en la Mar, tanto la Armada Española, como el Servicio Aéreo de Rescate,

los Servicios Aéreos y Marítimos de la Guardia Civil, el Servicio de Vigilancia Aduanera y la Cruz Roja del Mar.

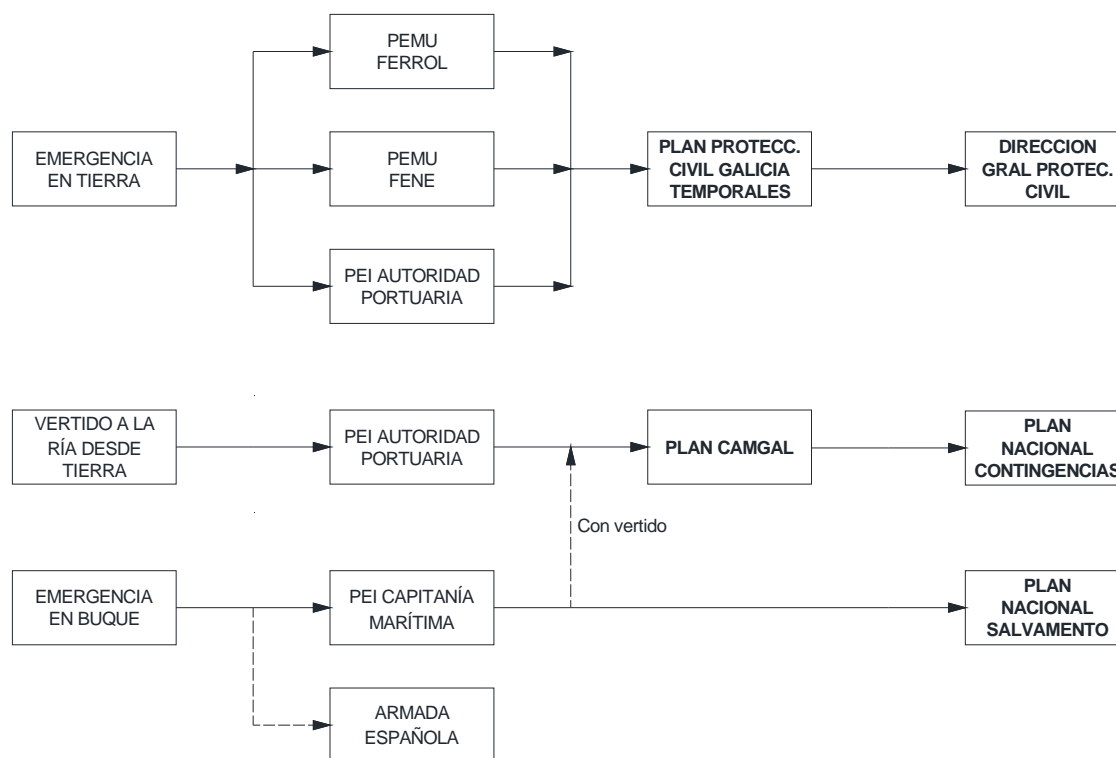


Figura 9.10 Planes de emergencia superiores. Fuente: Autor

Paralelamente, la Dirección Xeral de Protección Civil a través de la Axencia Galega de Emerxencias (AXEGA) es el organismo responsable de la integración y homologación de los planes interiores en la Comunidad Autónoma de Galicia dentro de los Planes Territoriales. En el caso que estamos tratando, la actuación en las instalaciones terrestres estará regulada por los planes siguientes:

- Plan de Protección Civil ante el riesgo de temporales en Galicia, editado por la Dirección Xeral de Interior e Protección Civil en junio de 2002.
- Plan CAMGAL para la lucha contra la Contaminación Marítima, en el que tienen competencias la Consellería del Medio Rural, Consellería de Medio Ambiente, Consellería de Sanidade y Consellería da Presidencia, de julio de 2012.
- Plan Territorial de Emerxencias de Galicia (PLATERGA) de enero de 2009, que coordina los planes de Autoprotección, tanto internos como de rango local.

La Dirección de la Emergencia asciende, de acuerdo con el nivel de gravedad decretado, siguiendo el esquema indicado en la figura 9.11. En caso de que llegara a alcanzarse el nivel nacional, esta responsabilidad será asumida por el Director General de Protección Civil y Emergencias del Gobierno de España.

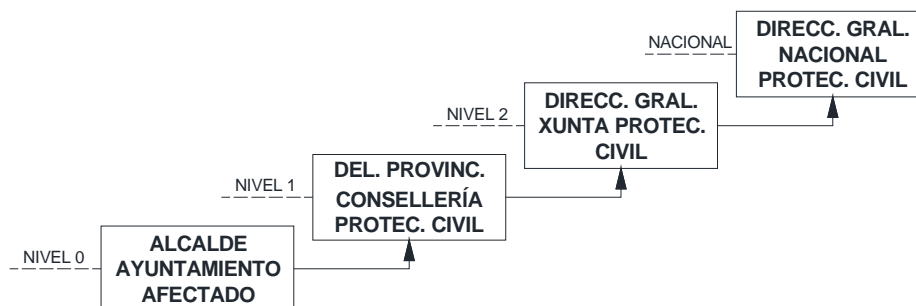


Figura 9.11 Dirección de la Emergencia de acuerdo al nivel de la misma. Fuente: Autor

9.6 LISTA DE COMPROBACIÓN GENERAL

Los protocolos de actuación contra las emergencias han tener una estructura sencilla que facilite el seguimiento por parte de sus integrantes. La elaboración de listas de comprobación, comúnmente conocidas como “*check lists*”, proporcionará la información preliminar necesaria para poner en marcha las primeras acciones y servirá de guía para no dejar en el olvido cuestiones que podrían resultar decisivas en el resultado de la gestión, a la vez de facilitar la toma de decisiones.

Es también importante la asociación o correspondencia de cada una de las acciones previstas en estas listas con un responsable de ejecución a fin de reducir los riesgos derivados de los posibles errores organizativos.

ACCIÓN	RESPONSABLE
Comunicación de la alerta y recomendaciones básicas a todo el personal de Navantia y sus contratistas	Jefe de Prevención
Elaboración del informe de situación y contactos de cada uno de los buques	Jefes de Producción
Valorar la necesidad de condensar las planchadas de acceso a los buques de mayor riesgo	Comité Dirección
Valorar la necesidad de disponer de un grupo de respuesta de grúas y montadores de andamios	Comité Dirección
Seleccionar los buques para estudios de amarre	Comité Dirección
Elaboración de los estudios de amarre	Jefe Prod. Repar.
Valorar la necesidad de solicitar la integración de un Práctico del Puerto de Ferrol dentro del Comité Asesor	Comité Dirección
Establecer turnos para la Dirección de la Emergencia	Comité Dirección
Recordar la composición de los Grupos de Respuesta y comunicarlo al personal integrante de los mismos.	Jefes de los Grupos de Respuesta
Comprobar el funcionamiento de los equipos del Centro de Control de la Emergencia	Jefe de Seguridad Industrial
Valorar la posibilidad de disponer de remolcadores en <i>stand-by</i>	Comité Dirección
Envío de comunicación de constitución del Comité a los capitanes de los buques	Jefe de Comunicación
Valorar la necesidad de alquiler de generadores de corriente	Comité Dirección
Envío de comunicación de constitución del Comité a las Autoridades	Jefe de Comunicación

Figura 9.12 Lista de comprobación del Comité de Dirección. Fuente: Autor

Con el propósito de dar una respuesta a las cuestiones planteadas tanto en el capítulo 3 como en el presente, se ha elaborado una lista de comprobación de inicio o arranque, mostrada en la figura 9.12, para que, una vez constituido el Comité de Emergencia, se impulsen ciertas acciones de forma inmediata, a la vez de plantear la necesidad de evaluación de otras en función de la gravedad de previsión de la alerta.

A modo de resumen, podemos indicar que, tomando como base de trabajo el Protocolo de Actuación ante Inclemencias Meteorológicas en vigor, se han identificado una serie de acciones de mejora que han sido contrastadas con la Jefatura de Prevención y Medio Ambiente y originarán la revisión del mismo, incluyendo los cambios relacionados a continuación:

1. Recepción de la alerta: Extensión del sistema automático de difusión de alertas desarrollado en el capítulo 7 de este trabajo al grupo de las Unidades Productivas de Navantia Ría de Ferrol, teniendo en cuenta, tanto el personal cuyas funciones pudieran verse afectadas por la acción del viento, tales como mandos de Manipuladores de Grúas, de Maniobra o de Marineros, como de aquellos cargos relacionados con la Dirección de Emergencia, Comité Asesor o Grupos de Respuesta, manteniendo simultáneamente los canales de transmisión tradicionales.
2. Definición de la situación: Inclusión en el Protocolo de la necesidad de cumplimentar la lista de comprobación contenida en el Anexo 9.2 que refleje la disposición de buques en el Astillero y la configuración de su amarre.
3. Desarrollo del organigrama de lucha contra la emergencia hasta el nivel de Grupos de Respuesta, identificando responsables y funciones.
4. Centro de Control de la Emergencia: Comprobación de la disponibilidad de todos los medios indicados en esta sección y elaboración de un plan de mantenimiento y prueba periódica de los mismos.
5. Integración en el protocolo de los procedimientos de comunicación de emergencia establecidos, que se dirigirán hacia el personal propio, capitanes y Autoridades.
6. Realización de un plan de revisión que permita actualizar periódicamente los puntos de contacto con los planes superiores.
7. Establecimiento de ejercicios periódicos de activación y seguimiento del Protocolo.
8. Continuación del Plan de Formación de Personal directivo, común con el Plan Interior de Contingencias por Contaminación Marina, comenzado en el año 2011.
9. Inclusión del modo de actuación para la activación de un plan superior, explicando la diferenciación entre emergencias terrestres y marítimas y la presencia o no de vertidos.
10. Inventariar los medios propios y subcontratados disponibles para la lucha contra la Emergencia.
11. Integración en el Protocolo de la lista de comprobación de arranque del Comité de Emergencia desarrollada.

12. Estudio de viabilidad de la unificación del Plan de Autoprotección y Emergencia con el de Lucha contra la Contaminación.

CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

10.1 CONCLUSIONES

10.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Navantia Reparaciones Ría de Ferrol se ha constituido hace algunos años en una empresa de referencia mundial en el sector de las reparaciones de buques destinados al transporte de gas licuado. Esta posición, como bien puede suponerse, no es fruto de la casualidad, sino del esfuerzo continuado de un equipo de personas que día a día han contribuido a hacerlo posible. Aunque las circunstancias han sido favorables por tener la oportunidad de contar con un dique cuyo tamaño se adapta a las necesidades de este mercado, por la amplitud y condiciones de calado de sus muelles y, en general, por la disponibilidad de unas instalaciones que, cumpliendo las condiciones exigibles, gozan además de una magnífica situación geográfica, con todo ello, se cumplimenta una condición necesaria, pero no suficiente.

Alcanzar una posición de privilegio en un mercado tan competitivo como el de las reparaciones navales requiere el planteamiento de una “*mejora continua*” enfocada hacia, al menos, uno de los siguientes objetivos:

- **La satisfacción del cliente**, canalizada a través de cuatro factores que se relacionan a continuación atendiendo a su orden de importancia:

La Prevención de Riesgos Laborales: Consistente en una búsqueda permanente del objetivo de “*cero accidentes*”, reforzada en su valor por la coincidencia con un perfil de cliente cuya imagen está estrechamente ligada con este lema.

El cumplimiento de plazos: Los compromisos contractuales de los armadores suponen una repercusión económica diaria muy importante que limitan el tiempo destinado a la reparación. Este hecho lleva a dedicar los esfuerzos necesarios para alcanzar su cumplimiento, aun cuando las causas del posible retraso no fuesen achacables al astillero.

La Calidad: Resulta obvio manifestar que las reparaciones realizadas han de poder garantizarse por la responsabilidad del servicio que se les exige. No es admisible, por tanto, una modificación en los procedimientos basada únicamente en el aspecto económico, sino que la fiabilidad habrá de constituirse como un factor de valor primordial.

El precio: Que supone, como vemos, el componente de menor peso específico. Sin embargo, no podemos olvidar que un precio excesivo empujaría al astillero fuera del mercado.

- **La reducción de costes**: que se conseguirá, fundamentalmente, a través de la mejora de los procesos, en busca de una mayor productividad que permita, por una parte, mejorar el resultado de las obras contratadas desde el punto de vista económico y, por otra, optar a la posibilidad de incrementar la competitividad en el mercado y, en consecuencia, de ampliar la cartera de clientes así como la fidelización de los actuales.

Podemos afirmar que cualquier acción emprendida en un intento de mejorar los procesos de producción que no se encuentre alineada con uno de estos dos objetivos, poco valor podrá aportar realmente a la empresa.

De la misma forma, es necesario que esta filosofía no permanezca solamente en la Dirección, sino que se extienda a la totalidad de su personal. Las mejoras se derivan como consecuencia de iniciativas que surgen en ocasiones de forma espontánea, independientemente del nivel de responsabilidad en la empresa.

El amarre del buque constituye una de tantas operaciones necesarias durante el proceso de reparación del buque y como tal, se encuentra sujeto a las mismas reglas. Cualquier mejora en este campo tendrá un mayor valor por el hecho de suponer una protección adicional de la imagen del cliente.

Las experiencias vividas por este doctorando como de Jefe de Producción de esta unidad desde el año 2004 han constituido el impulso necesario para emprender el desarrollo de la presente Tesis, que nació como una oportunidad de mejora y comenzó a materializarse cinco años más tarde. Los estudios y reflexiones subsiguientes han contado con la aportación fundamental del personal de Navantia y no sería de justicia omitir que el resultado obtenido es fruto del trabajo diario de un equipo más que del que ha tenido el privilegio de escribirla.

Aunque el tiempo transcurrido desde su gestación se asemeja corto, lejos se avista la imagen de la llegada de un buque al astillero sin una disposición de amarre estudiada que se iba componiendo con la participación conjunta del Capitán, el práctico y el jefe de marineros y que en muchas ocasiones requería su modificación posterior debido a incompatibilidades con las grúas o por la llegada de un aviso de vientos fuertes.

Los pasos dados a lo largo de este camino han propiciado la satisfacción de observar gradualmente la efectividad de las mejoras conseguidas, a la vez de brindar la oportunidad de modificación de aquellas otras acciones cuyo resultado difería de lo esperado. Como producto de todo ello se ha obtenido una **ventaja competitiva** que refleja ante el cliente no solamente la preocupación latente del astillero por la Prevención de Riesgos Laborales, sino también una imagen de profesionalidad que dará, por otro lado, sus frutos en el ámbito de la productividad y, como consecuencia de ello, en la reducción de costes. Es decir, en la alineación con las metas comentadas anteriormente.

En el Capítulo inicial, donde establecíamos el Planteamiento General de la Investigación, identificábamos los objetivos específicos de esta Tesis tras describir el problema presentado, que, si recordamos, consistían en:

1. Conseguir la **resistencia necesaria** en el amarre capaz de afrontar las condiciones anunciadas por la alerta.
2. **Organizar la emergencia** de forma efectiva con el fin de evitar cualquier accidente.

De manera lógica, las principales conclusiones que se especifican y destacan en el presente Capítulo y que se derivan del Trabajo de Investigación abordado se hayan en concordancia con estos objetivos. Hemos clasificado las diversas aseveraciones en parcelas adosadas no sólo con la finalidad de disgregar matices, sino también con el ánimo de plasmar, de la mejor forma posible, la declaración formal de los diferentes resultados, dado que existe una interrelación entre las diversas fases de la Investigación y los logros que se han ido produciendo.

10.1.2 CONCLUSIONES FINALES

Conclusiones relativas a las fuerzas que actúan sobre el buque y los elementos que componen el sistema de amarre

La resistencia necesaria en el amarre solamente podrá resultar efectiva partiendo del conocimiento de las fuerzas que actúan sobre el buque. En los primeros capítulos las identificábamos de acuerdo a la siguiente relación:

- La altura de la marea.
- El viento.
- La corriente originada por la marea o la acción de un río.
- Las olas causadas por el viento.
- Las variaciones en el calado del buque.
- Las olas provocadas por otros buques pasando cerca del atraque.

El grueso de nuestro trabajo trata de hacer frente a la acción del viento y de la corriente por constituirse en las de mayor riesgo en el caso particular planteado (buque tipo LNG, amarrado en un muelle de Navantia Ría de Ferrol). Sin embargo, no podemos descartar los efectos producidos por aquellas otras que, a priori, entrañan consecuencias de menor entidad, tales como la marea, las variaciones de calado o las olas.

La altura de la marea es una fuerza previsible que responde a la elevación del buque con respecto al muelle controlable por las acciones de lascado o cobrado de los cabos, motivo por el que solamente podrá ser contrarrestada con una adecuada vigilancia de su tensión (*“line tending”*) por parte de la tripulación del buque.

Las **variaciones en el calado del buque** cuando se encuentra en reparación son esporádicas y normalmente se limitan al deslastrado anterior a su entrada en dique o la puesta en calados previa a su salida a la mar. Su importancia radica especialmente en la magnitud de las fuerzas generadas, que pueden llegar a alcanzar valores de cientos de toneladas.

Experiencias vividas en el pasado han llevado a diseñar un procedimiento específico basado en la vigilancia conjunta de las amarras (compartida entre el astillero y el buque) que regula esta situación y establece los puntos de contacto y los correspondientes canales de comunicación necesarios para obtener una adecuada coordinación. Hasta la fecha, podemos ratificar que tal medida ha evitado la repetición de un incidente similar (sección 6.2.1).

Las particularidades topográficas de la Ría de Ferrol, caracterizadas especialmente por su canal angosto de entrada, conforman una barrera natural de gran efectividad que evita la propagación de las **olas** desde alta mar hacia su interior. El efecto de éstas sobre el buque se ve limitado a aquellas originadas por el viento o por la interacción del paso de otros buques en las proximidades del atraque que, debido a las bajas velocidades de maniobra y su lejanía de las rutas de paso, sólo puede considerarse relevante a nivel de pequeñas embarcaciones.

Las olas generadas por el viento poseen unos períodos naturales muy cortos y únicamente se materializarán en una amenaza cuando el tren generado fuese perpendicular a su línea de crujía y provocase con ello movimientos de balance. En este caso, **los calabrotes**, que son capaces de ofrecer la elasticidad necesaria a los cabos, se constituyen como elementos fundamentales en la resistencia del amarre.

Tanto el buen estado de conservación como su disposición racional¹³⁰ se consideran factores relevantes a la hora de contrarrestar aquellas fuerzas de gran magnitud y corta duración, como las olas o las rachas de viento.

Sin embargo, estimamos que el elemento de mayor contribución en la resistencia de una disposición de amarre lo componen **los frenos de las maquinillas**, aunque su importancia no se haya puesto de manifiesto hasta hace unos pocos años, como consecuencia de las recomendaciones publicadas por la *OCIMF*.

Estos mecanismos cubren una doble función, ya que, por una parte, protegen al cabo que laborean de su rotura, arriando el mismo cuando se alcanza una tensión equivalente al 60% de su *MBL* y, por otra, permiten con esta acción, la contribución al sistema de amarre de otros, inicialmente sometidos a menor tensión, obteniéndose un reajuste de manera “*automática*”.

Aunque a los ojos de un profano pudiera parecer que la labor de vigilancia de los cabos de manera adecuada no debiera entrañar mayores complicaciones, existen varios factores que dificultan en gran medida la consecución de un sistema de amarre apropiadamente tensado, entre los que cabe destacar:

- En el caso de que el buque se encuentre en una zona geográfica sometida a importantes variaciones en la altura de la marea (tal es el caso del puerto de Ferrol, donde la amplitud puede

¹³⁰ Con disposición racional queremos decir que los calabrotes correspondientes a cabos que contribuyen con su resistencia a una misma dirección de esfuerzo (traveses, *springs* de proa o popa, etc.) han de disponer de longitudes similares y materiales de las mismas características para conseguir un efecto de elasticidad homogéneo.

llegar a alcanzar los cuatro metros y medio), obligará a una labor continuada de cobrado y lascado.

- Estas operaciones requieren la participación de, al menos, dos equipos de trabajo, que no siempre se encontrarán disponibles, especialmente durante la reparación del buque.
- En el caso de condiciones meteorológicas severas, esta labor se ve seriamente dificultada, cuando el solo hecho de permanecer en cubierta puede constituir de por sí mismo una proeza.
- Durante la estancia del buque en el astillero de reparación es probable que alguna de las maquinillas se encuentre inoperativa como consecuencia de las intervenciones requeridas en la especificación de trabajos del armador.
- Existe la posibilidad de que en la situación anterior el buque tenga dependencia de los medios del astillero para generar la potencia motriz necesaria para su movimiento (aire comprimido o corriente eléctrica) que, en algunos casos puede estar limitada y en otros, interrumpida.

De esta manera, en aquellas situaciones en las que el reparto de tensión entre los cabos pudiera resultar inadecuado, los frenos de las maquinillas juegan un papel fundamental, tal y como puede desprenderse del análisis de accidentes realizado en la sección 3.4.1. Sin embargo, aun a pesar de tratarse de un asunto de obvia necesidad, estos elementos no han tenido históricamente la consideración que merecen y, como fruto de ello, su evolución ha resultado muy escasa.

Conclusiones relativas a la asignación de responsabilidades

No es una labor sencilla intentar descifrar lo que un juez pudiera dictaminar ante un caso de rotura de amarras, especialmente si tenemos en cuenta una serie de condicionantes externos que seguramente estarán presentes y que harán de cada accidente una situación única. Sin embargo, a través del estudio de carácter jurídico realizado, hemos podido confirmar que el astillero de reparación, por el hecho de que el buque posee unas importantes restricciones de operatividad y autonomía durante su estancia en el muelle, juega un papel decisivo en la disposición de medidas preventivas y en la gestión de la emergencia que, seguramente, le implicarán en las responsabilidades que pudieran dirimirse.

De esta forma, la tradicional creencia, todavía presente en muchos casos, de que el capitán es el único responsable de la estancia segura del buque en puerto se nos asemeja trasnochada y poco reflexiva.

La escasez legislativa de la Administración Española en materia de obligaciones con respecto al amarre del buque cuando nos alejamos del ámbito del transporte y transvase de mercancías peligrosas, no ha conducido al estudio de casos de accidentes marítimos similares al que nos enfrentamos, entre los que destacaríamos el informe de la *CIAIM* resultante de la investigación del siniestro del crucero MSC Fantasía ocurrido en el puerto de Palma de Mallorca en marzo de 2009, que viene a dar luz acerca de las obligaciones del Capitán, Autoridades Marítimas y la entidad propietaria de la instalación y que, entre líneas, muestra el espíritu pro-activo que se les exige a las partes involucradas, coincidente, por

otro lado, con el deber “*in vigilando*” reflejado en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales española (R.D. 171/2004, art. 10).

Partiendo del análisis de la documentación publicada por las asociaciones de armadores de buques dedicados al transporte de hidrocarburos y gases licuados (*OCIMF*, *ISGOTT* y *MTPQ*), pioneras en materia de prevención, continuando con el estudio de la legislación española en este ámbito (R.D.L. 2/2011 y R.D. 145/1989) y agregando a su conjunto la detección de las obligaciones contraídas en las diferentes modalidades de contratos en el ámbito de las reparaciones navales, ha sido nuestro interés identificar aquellas obligaciones que, a priori, recaen en el lado del astillero (presentadas de manera estructurada y resumida en la figura 10.1) y que han marcado el desarrollo posterior de la presente Tesis. El conocimiento de las obligaciones propias y la consiguiente puesta en práctica de las acciones apropiadas para la mitigación de los riesgos que identifique la correspondiente evaluación, cumplirán el doble objetivo de reducir en gran medida la posibilidad de generación de un accidente, a la vez de proteger al personal del astillero de las posibles responsabilidades que se pudieran derivar del siniestro de estas características.

MEDIDAS PREVENTIVAS	ANTES DE LA LLEGADA DEL BUQUE	REFERENCIA
	Cálculo de la resistencia del amarre	Capítulos 4 y 5
	Preparar la disposición de amarre prevista que contenga los parámetros fundamentales del muelle y la posición y SWL de los puntos de amarre	Capítulo 5
	Análisis de la compatibilidad del muelle asignado y detección de necesidades de mejora de medios	Capítulo 6
	DURANTE LA ESTANCIA DEL BUQUE	REFERENCIA
	Disponer del número necesario de cabos adicionales para reforzar el amarre en caso requerido	Capítulo 6
	Monitorización de las condiciones meteorológicas, trasladando dicha información al Capitán	Capítulo 7
	Analizar las posibles medidas extremas de contingencia	Capítulo 8
	PLAN DE EMERGENCIA	REFERENCIA
	Disponer de un Centro de Control de la Emergencia debidamente dotado	Capítulo 9
LUCHA EMERGENCIA	Establecer de los canales de comunicación en emergencia	
	Prever que la emergencia pudiera afectar a otras instalaciones	

Figura 10.1 Resumen de obligaciones del Astillero de Reparación y su referencia de desarrollo en el presente trabajo.
Fuente: Autor

Asimismo, mención especial merece el cambio de valor que el término Fuerza Mayor ha supuesto en los últimos tiempos cuando éste se encuentra referido a fenómenos meteorológicos adversos. Los avances tecnológicos en materia de predicción de acontecimientos de esta índole y la eficacia mostrada por los organismos oficiales con respecto a su divulgación han propiciado que, de acuerdo a la definición

ofrecida por el Código Civil español (“*todo evento que ni pudo ser previsto, ni, de haberlo sido, podría haberse evitado*”), raramente podrá ser identificado como causa probable de un siniestro.

Conclusiones relativas a la caracterización de las condiciones particulares de la Ría de Ferrol

Uno de los mayores retos afrontados durante el desarrollo de la presente tarea investigadora ha consistido en la determinación de las condiciones de viento y corriente que, de forma sistemática, habrá de soportar el sistema de amarre de un buque amarrado en la Ría de Ferrol, ya que de ello depende la definición de los medios mínimos exigibles a cada uno de los muelles contemplados. La solución habría de aportarse en su justa medida, debido a que un resultado muy conservador implicaría una inversión excesiva, mientras que el caso contrario supondría una carencia de recursos.

La definición del caso particular de la corriente no ha constituido un problema de mayores dimensiones por la oportunidad de acceso a estudios modernos específicos elaborados por *CEDEX* que garantizan su veracidad y que vienen a confirmar que los valores de velocidad que pueden encontrarse en cualquier punto de la Ría se encuentran lejos de los mínimos recomendados por la *OCIMF*. Sin embargo, atendiendo a motivos tanto de seguridad, como de justificación ante una posible discusión con el cliente (ya que su aceptación se encuentra internacionalmente reconocida), tomaremos estos como estándar. La tabla que muestra la figura 10.2 los presenta resumidos de forma gráfica.

CORRIENTES MARINAS	
DIRECCIÓN	VELOCIDAD
0° y 180°	3 nudos
10° y 170°	2 nudos
90°	0,75 nudos

Figura 10.2 Caracterización de las corrientes marinas. Fuente: Autor

Por otro lado, y a título anecdótico, hemos de significar que las fuerzas resultantes de la aplicación de las intensidades de corriente establecidas poseen una magnitud de escasa relevancia cuando se comparan con aquellas generadas por el viento.

De esta forma, el problema real se ha presentado en la caracterización de las rachas de viento a las que pueden verse sometidos los muelles del interior de la Ría. Si bien se han localizado multitud de estudios que identifican los vientos predominantes en función de la época del año, solamente uno de ellos, realizado por el Departamento de Xeografía de la Universidad de Santiago de Compostela, viene a observar lo que sus autores denominan comportamiento extremo, es decir, los temporales de viento. Sin embargo, debido a que este análisis se encuentra referido a una zona geográfica mucho más extensa (a

nivel de la Comunidad Gallega), solamente podrá considerarse como referencia comparativa, lo que nos ha obligado a emprender nuestra propia investigación.

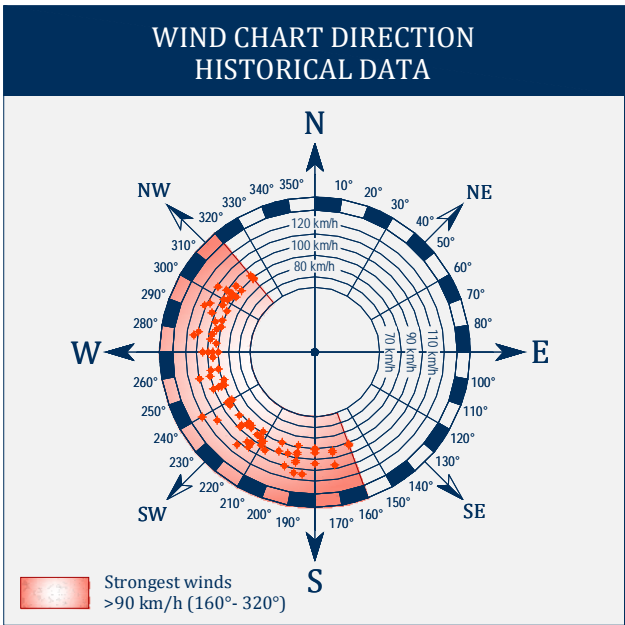


Figura 10.3 Representación gráfica dirección/velocidad rachas. Fuente: NRFF

La información de base, necesaria para su desarrollo, se ha obtenido a partir de los registros de las seis estaciones oficiales más cercanas a la Ría de Ferrol, disponibles en las páginas web de los dos organismos oficiales de observación (AEMET y Meteogalicia). A partir de los miles de datos históricos obtenidos, hemos compuesto un abanico formado por 165 episodios, considerados en la escala de Beaufort como “temporales”, identificados a lo largo de un periodo de 37 años (desde noviembre de 1974 a mayo de 2011), que han permitido su distribución gráfica en función de su intensidad y dirección. A la vista de la figura 10.3, que refleja esta disposición, la creencia tradicional de que los temporales provienen del Suroeste supondrá, a partir de este momento, una consideración relativa.

RANGO DE DIRECCIONES DE LOS VIENTOS FUERTES	160° a 320°
VELOCIDAD DEL VIENTO PARA CÁLCULO DE AMARRES	36,1 m/s (130 km/h)
ÉPOCA DEL AÑO DE MAYOR RIESGO	OCTUBRE A MARZO
FRECUENCIA DE LOS VIENTOS MUY FUERTES (> 103 km/h)	1 VEZ AL AÑO ¹³¹

Figura 10.4 Tabla Resumen de caracterización de vientos muy fuertes. Fuente: Autor

¹³¹ Considerando una distribución estadística uniforme

Las direcciones, intensidades y registros de fecha de cada uno de estos episodios han propiciado los posteriores análisis de estacionalidad y frecuencia hasta llegar a definir la caracterización básica que la figura 10.4 muestra como resumen.

La observación posterior desde la fecha en la que finaliza la toma de datos (mayo del 2011) hasta la actualidad ha propiciado la comprobación de los resultados obtenidos. Es destacable la coincidencia de todos ellos, excepto en su frecuencia, que, como bien se indica en su definición, corresponde a una distribución estadística uniforme. Se destaca el hecho de que el comienzo del año 2014 fue especialmente activo en esta serie de acontecimientos.

Conclusiones relativas al sistema de cálculo de resistencia del amarre diseñado

Ha quedado de manifiesto que no es propósito de este trabajo el desarrollo de un método de cálculo que permita la obtención de manera exacta de la velocidad de viento que puede soportar una disposición de amarre determinada, habida cuenta de la existencia de una serie de incertidumbres procedentes de los datos del sistema que lo desvirtúan en su conjunto, tales como que todos los cabos del buque no van a encontrarse sometidos a una tensión inicial proporcionada por el tiro de las maquinillas de idéntico valor, los frenos de las maquinillas arriarán ante la presencia de fuerzas de distinta magnitud, o la propia inexactitud de la previsión meteorológica, entre otras.

Sin embargo, si bien habíamos considerado que la caracterización de las condiciones climatológicas particulares poseía un valor relevante, no lo constituirá en menor medida el cálculo de la resistencia de una disposición de amarre, ya que de éste se derivará, asimismo, la necesidad de los medios de amarre y defensas.

Si bien este tipo de programas se encuentran disponibles en el mercado, razones económicas y, especialmente, de satisfacción de las necesidades propias, han llevado a diseñar un sistema de cálculo a medida, que cumpliera unos objetivos fijados de forma clara desde el inicio y que son analizados a la hora de evaluar el sistema:

1. Rapidez en la obtención de resultados, teniendo en cuenta que es muy posible que coincida la necesidad de analizar el amarre de varios buques durante el periodo de alerta e interesa destinar los mínimos recursos posibles. Hemos comprobado que una persona familiarizada con el programa no necesitará más de una hora para completar el informe final.
2. Requerimientos mínimos de formación para el manejo del programa, con el fin de extender el grupo de personal que lo pudiera llevar a cabo. Se ha pretendido facilitar su elaboración partiendo de la elección de un programa de conocimiento universal, como es Microsoft Excel, a la vez de identificar claramente las casillas de introducción de datos.
3. Veracidad de los resultados obtenidos. Aunque las normas *ROM*, editadas por el Ministerio de Fomento, regulan el diseño de los medios de amarre de los puertos de nueva construcción,

hemos preferido fundamentar nuestro sistema en las fórmulas empíricas desarrolladas por la *OCIMF* y la *SIGTTO* por motivos tanto de conocimiento internacional, como de especialización en el ámbito de los buques de transporte de gas licuado. Los análisis comparativos realizados, tanto con las normas oficiales como con el software especializado, confirman que el sistema de cálculo es fiable.

4. Facilidad de análisis del sistema de amarre y ayuda a la toma de decisiones. La estructura diseñada para el cálculo y la presentación de resultados permite una identificación sencilla de los puntos débiles del sistema y, por lo tanto, sirve de apoyo para la determinación de alternativas de refuerzo.
5. Elaboración de un informe final claro que pueda ser entendido por los clientes. Este es el motivo que nos ha llevado a adoptar la estructura general de cálculo que siguen las normas *OCIMF*, de difusión universal en el ámbito marítimo.

Se ha estimado de interés anexar un ejemplo impreso del mencionado informe en el cuerpo principal de la presente Tesis con el fin de ilustrar los aspectos referidos de una manera gráfica (Anexo A). El programa Excel original, sin embargo, se encuentra disponible en el dispositivo de almacenamiento electrónico que se adjunta a esta edición y su cumplimentación para cualquier otro buque no supone una tarea complicada si se siguen las pautas dictadas por el Capítulo quinto, estructurado a modo de Manual de Instrucciones.

Conclusiones relativas a los medios de atraque dispuestos en los muelles

Aunque las posibilidades del programa permiten evaluar si el buque se encuentra bien protegido de los vientos y corrientes cuando estos lo empujan contra el muelle, hemos creído conveniente estudiar el comportamiento del sistema de defensas durante la maniobra de atraque, por tratarse de un aspecto fundamental a la hora de elegir con éxito su tipo y tamaño.

Ha sido gratificante comprobar que el tipo de defensas utilizado (conocido comúnmente como *yokohamas*) es el ideal para su uso en buques de transporte de gas licuado por ofrecer muy bajas presiones de reacción contra el casco.

Sin embargo, una vez definidos los datos necesarios para el cálculo de la energía que se ha de transmitir desde el buque al atraque, hemos podido verificar que el modelo de defensas empleado en la actualidad (*pneumatic 50*) resulta escaso para esta operación¹³², habida cuenta de que ha quedado demostrado que lo más probable es que una única defensa haya de soportar la totalidad de la energía a transferir. Este

¹³² Este análisis se ha realizado sobre la base comparativa de dos sistemas de cálculo independientes (normas *ROM* y catálogo de fabricante).

razonamiento viene a explicar varios incidentes experimentados en el pasado relacionados con el reventón de alguna unidad.

Por ello, se recomienda que la adquisición de las nuevas unidades que pudieran ser necesarias, como consecuencia, fundamentalmente, de la finalización de la vida útil de las existentes, correspondan al modelo *pneumatic 80*, por ofrecer una energía de absorción garantizada sensiblemente mayor y adaptarse a los resultados obtenidos. Estas se destinarán a ocupar con carácter prioritario aquellas zonas donde se producirá el primer contacto del buque con mayor probabilidad (áreas de transición entre los costados paralelos y el comienzo de los finos de proa y popa).

En la última parte del análisis de este sistema se valora como aceptable la distancia actual entre las defensas, si bien se recomienda su reducción a través de la intercalación de una unidad entre cada dos existentes en aquellas zonas referidas anteriormente, consideradas como más problemáticas.

Conclusiones relativas a los medios de amarre dispuestos en los muelles

La definición de los medios necesarios que los muelles han de disponer con el fin de garantizar un amarre seguro ha necesitado de la implementación de tres etapas consecutivas:

En una **primera etapa** se han fijado los elementos mínimos necesarios para el sostenimiento del buque bajo la influencia de las condiciones estándar definidas, considerando **cualquier dirección de procedencia del viento**, que pueden resumirse en:

- **Resistencia longitudinal:** Configurada bajo la disposición de los norayes de 125 toneladas de SWL, existentes sobre los cantiles de los muelles, a los que solamente se podrá encapillar una única amarra. El sistema necesitará de tres cabos en sentido proa-popa y otros tantos en sentido contrario de longitud mínima equivalente a la distancia entre norayes (alrededor de 30 metros).
- **Resistencia transversal:** Se ha identificado la necesidad de tender ocho amarras de través en proa y otras tantas en popa, para lo que será necesario, tras el estudio de viabilidad realizado, disponer de al menos dos puntos de amarre de 300 toneladas de SWL en el muelle, alineados con cada una de las zonas referidas.

Teniendo en cuenta que las posibilidades de un buque convencional difícilmente podrán llegar a ofrecer los requerimientos establecidos (un total de 22 cabos), se hace necesario continuar nuestro desarrollo enfocándolo hacia dos direcciones independientes:

a. Uso racional de medios

Siempre que sea posible, el sistema de amarre se diseñará de forma que los cabos propios del buque, o aquellos de refuerzo que puedan ser montados sobre los carretes, han de orientarse hacia la dirección

de acción prevista por los fenómenos meteorológicos anunciados, con el fin de mantener el control de tracción que aportan los frenos de las maquinillas. Esto puede dar lugar a que maquinillas diseñadas como *spring*, se utilicen para disponer cabos de través por su coincidencia con la dirección prevista del viento y la adecuada correspondencia con los medios del muelle.

b. Amarras de refuerzo

Según identificamos en el Capítulo 3, dedicado a la definición de responsabilidades del astillero, tanto la OCIMF como los “*documentos puente*” acordados con los mejores clientes, establecen la necesidad de disponer de amarras de refuerzo que incrementen la resistencia del sistema. La Sección 6.2.2 está dedicada a definir tanto sus características (*HMPE*, de 52 milímetros de diámetro, 114 metros de longitud y 207 toneladas de *MBL*), como el número de unidades necesarias (16).

Es importante destacar que la utilización de este tipo de cabos requiere su tensado en condiciones de pleamar, ya que se afirmarán generalmente a una bita de a bordo que no permite su virado o arriado de acuerdo a la variación de la altura de la marea y por ello, permanecerán en banda en condiciones distintas a la contemplada. De esta forma, su contribución al sistema se encontrará supeditada al buen funcionamiento de los frenos de las maquinillas que alojan los cabos propios del buque.

Es por ello que las amarras de refuerzo habrán de destinarse prioritariamente para completar el sistema, cubriendo aquellas direcciones menos comprometidas (en las que no se prevea la acción directa de los fenómenos meteorológicos anunciados).

$$i_G = \frac{i_f \cdot i_r \cdot i_m}{10^3} \quad (10.1)$$

MUELLE		ORIENT.	i_f	i_r	i_m	i_G
FERROL	9	150°	100	0	27	0
	11	330°	10	89	10	8,9
	12	150°	10	0	10	0
	14	26°	100	63	40	252
FENE	10	64°	10	42	60	25,2
	11	122°	100	10	40	40
	12	302°	30	79	40	94,8

Figura 10.5 Cálculo de exposición global al riesgo. Fuente: Autor

La **segunda etapa** de la definición de medios ha consistido en evaluar independientemente cada uno de los siete muelles contemplados en función de tres índices:

- Índice de frecuencia de uso (i_f), definido por el grado de utilización anual del muelle en cuestión.
- Índice de exposición al riesgo (i_r), en función de la coincidencia de su orientación con el sector identificado como de mayor probabilidad de procedencia de vientos fuertes.

- Índice de medios actuales de amarre (i_m), que tiene en cuenta el grado de cumplimiento actual con respecto a los requerimientos definidos.

La conjunción de estos tres factores determina el índice de valoración global (i_G), cuantificado por su producto, que nos permitirá componer una tabla como la indicada en la figura 10.5 que asigna un valor de riesgo específico a cada muelle.

La **tercera etapa** se afronta con la definición de un plan de acción de mejora de medios en función de su índice de valoración global. La tabla de la figura 10.6 constituye un buen ejemplo que refleja el programa de instalación de norayes de través.

MUELLE		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FERROL	9		1	1				
	11							
	12							
	14	3	1					
FENE	10						2	2
	11		3	1				
	12			2	1			

Finalizados

Pendientes

Figura 10.6 Plan de acción para la instalación de norayes de 300 tons. Fuente: Autor

Conclusiones relativas al sistema automático de recepción y difusión de la alerta

El tiempo de preaviso de un fenómeno meteorológico adverso representa una magnitud de extrema importancia a la hora de preparar de forma adecuada todas las medidas preventivas que se estimen apropiadas en función de la intensidad esperada del mismo. Podemos, en base a ello, asegurar que la mejora de este periodo constituye una medida de mitigación del riesgo en sí misma.

El sistema automático que se presenta para la recepción y difusión de los boletines de alerta meteorológica comenzó a gestarse en el año 2010 con el fin de servir como alternativa al procedimiento oficial establecido que, debido a su complejidad, originaba importantes retrasos en la comunicación, especialmente acusados durante épocas festivas o fines de semana.

El trabajo desarrollado por el grupo de informáticos que trabajan para Navantia Reparaciones Ría de Ferrol ha permitido no solamente resolver las cuestiones afrontadas sino que, a través de un desarrollo posterior, el mismo sistema facilita la distribución de otro tipo de información meteorológica de gran utilidad para la planificación de procesos productivos, así como para la previsión de temporales con mayor antelación que la ofrecida por las propias alertas.

La implementación de listas de distribución internas (dirigidas al personal propio con responsabilidades con respecto al amarre y servicios auxiliares) y externas (destinadas a capitanes y armadores de los buques presentes en el astillero) facilita la evaluación de la situación por todas las partes implicadas, además de cumplir con la obligación propia del titular de la empresa portuaria en lo relativo a la monitorización y difusión de aquellos riesgos especiales a los que puede verse sometido el buque.

Transcurridos más de tres años desde su puesta en servicio, estamos en condiciones de confirmar la utilidad y fiabilidad del sistema, además de servir como ventaja competitiva de tipo preventivo ante el cliente, poniendo en valor a la marca “Navantia”.

Conclusiones relativas a la efectividad de las alternativas de refuerzo del sistema de amarre

Siendo conscientes de la posibilidad de la recepción de un boletín de alerta meteorológica que anuncie una intensidad de viento mayor que la considerada estándar para nuestros cálculos o una orientación diferente al sector definido a través del estudio histórico, hemos creído prudente analizar la efectividad de ciertas alternativas de refuerzo del sistema de amarre con el fin de conocer sus resultados y obtener de ellos las correspondientes conclusiones que puedan ayudarnos a la toma de decisiones en el futuro.

La simulación de estas situaciones por medio del módulo dinámico del programa de cálculo de amarres OPTIMOOR v.6.0.6 nos ha permitido extraer las siguientes conclusiones:

- **Remolcadores** trabajando de carnero por sotavento: Técnicamente hablando, esta medida resulta ineficaz, habida cuenta de que el mayor remolcador que opera en el puerto de Ferrol no supera las 75 toneladas de tracción a punto fijo (“*bollard pull*”), sensiblemente menor al valor del límite de tracción de un único cabo. Sin embargo, no podrá descartarse por constituir, curiosamente, la primera acción recomendada por la OCIMF en el caso de que las condiciones meteorológicas comiencen a poner en riesgo la resistencia del amarre y, por ello, podría ser decisiva a la hora de evaluar futuras responsabilidades.

Por el contrario, la asistencia de remolcadores se considera más efectiva cuando su disposición se conciba bajo el empleo del método de remolque portuario empujar - tirar (“*push-pull*”), que podría ayudar a orientar el buque en un supuesto de rotura de amarras en cascada, siempre y cuando los remolcadores que presten asistencia estén dotados de propulsión omnidireccional.

- **Frenos de las maquinillas:** A través de una comparativa realizada suponiendo el buen funcionamiento de los frenos de las maquinillas y contrastar los resultados obtenidos para el caso de que éstos se hallen inoperativos, ha quedado demostrada la influencia fundamental de estos elementos en la resistencia del conjunto.

- **Fondeo del ancla:** El reducido calado existente en los muelles de la Ría, determina la minoración de la efectividad del fondeo del ancla, lo que trae como consecuencia que tal opción no pueda considerarse como una alternativa viable, aun cuando es previsible que el buque se orientaría al viento tras la rotura del sistema, ofreciendo una menor superficie de exposición al mismo.
- **Cabos de alta resistencia** dispuestos a la “*pendura*”: La simulación dinámica nos ha permitido comprobar que las fuerzas generadas por el viento a las velocidades consideradas son de una magnitud tal que, una vez que el barco se encuentre en movimiento debido a la rotura parcial del amarre, se hace muy difícil detener su deriva.

El factor clave para la resistencia global del amarre reside en la contribución homogénea de todos y cada uno de elementos dispuestos, mientras el buque se encuentre en posición estática. La distribución de cabos que no se sumen con su aportación al resto del sistema en estas condiciones, aliviándolo de tensión, no supondrá, por tanto, mejora alguna.

De acuerdo a esta teoría, nuestros esfuerzos habrán de dirigirse de forma prioritaria hacia la disposición racional de los medios, reorganizando las amarras que trabajan sobre los carretes para orientarlas a la dirección más probable de procedencia del viento.

Una vez decidida esta distribución, la mejora de la fortaleza del sistema se diseñará en base a la disposición de cabos de refuerzo que posibiliten su contribución a la resistencia global, para lo que pudieran ser especialmente útiles aquellos puntos de amarre especiales del buque, tales como el correspondiente al remolcador de escolta de popa, los remolques de emergencia de proa y popa, las bitas de amarre del remolcador de puerto o la propia cadena de fondeo.

En función de la correspondencia entre estos elementos y aquellos disponibles en el muelle, se habrá de decidir el refuerzo que se estime más conveniente, que incluirá el montaje de noraves móviles sobre el muelle en caso necesario.

Conclusiones relativas al sistema de alimentación eléctrica ininterrumpida en emergencia

La presencia de vientos fuertes en la zona se encuentra asociada, con cierta frecuencia, con la aparición de averías en la red de distribución de energía eléctrica que, en función de su gravedad, puede ocasionar cortes que se prolonguen durante varios días¹³³.

¹³³ En la Sección 6.3 se relatan varios sucesos acaecidos en los últimos años que confirman esta aseveración

Las consecuencias que se derivarían de una parada de los medios de producción en una actividad como la de las reparaciones navales, marcada, como ya se ha destacado anteriormente, por plazos de ejecución muy reducidos, además de la falta de disponibilidad de los servicios de emergencia (red de contraincendios o reachique de los diques), darán lugar a un importante riesgo de incumplimiento del contrato, que podría traducirse en la pérdida de algún cliente.

A la vista de la importancia de las posibles consecuencias, se hace necesario evaluar sus riesgos y estudiar las posibilidades de su minimización. El objetivo que ha marcado el desarrollo de nuestro análisis ha sido el de mantener los servicios necesarios para preservar las condiciones de seguridad a bordo (“servicios de emergencia”) a la vez de facilitar la continuación de aquellos trabajos considerados como críticos, que poseen una influencia decisiva en el cumplimiento del plazo de reparación (“servicios básicos”).

Ello nos ha obligado, en una primera etapa, al estudio de las redes de distribución actuales, tanto en el centro de Ferrol como el correspondiente a Fene, desarrolladas ambas bajo un concepto muy diferente, marcado por la evolución histórica derivada de su actividad.

La segunda etapa de nuestro análisis se ha caracterizado por la identificación de los “servicios de emergencia” y los “servicios básicos” de cada uno de los centros, cuantificando los requerimientos de voltaje, potencia y frecuencia necesarios para cumplir nuestro objetivo.

$$i_G = \frac{i_f \cdot i_a}{100} \quad (10.2)$$

INSTALACIÓN		i_f	i_a	i_G
FERROL	DIQUE 2	30	100	30
	DIQUE 3	100	100	100
	M 9	100	100	100
	M 11	10	100	10
	M 12	10	100	10
	M 14	100	100	100
FENE	DIQUE 4	10	30	3
	DIQUE 5	100	30	30
	M 10	10	30	3
	M 11	30	30	9
	M 12	30	30	9

Figura 10.7 Índice global de exposición al riesgo por fallo de suministro de la energía eléctrica principal. Fuente: Autor

Una vez dimensionado el consumo eléctrico, se ha procedido al estudio de las opciones de suministro alternativo, cuyas posibilidades son variables en función del centro y de la instalación (muelle o dique) donde se encuentre el buque, que definirán su índice de autonomía (i_a). La introducción de una segunda

variable en el sistema (frecuencia de utilización, i_j) ha permitido su evaluación conjunta, materializada en la elaboración de la tabla que muestra la figura 10.7.

El índice global de exposición al riesgo (i_G) definirá las prioridades del plan de acción, que ha resultado, en consecuencia, estructurado en tres fases progresivas. Cada una de ellas contempla soluciones particulares que han sido analizadas tanto desde el punto de vista económico como de su versatilidad ante diferentes escenarios, cuya importancia puede considerarse transcendental si tenemos en cuenta las incertidumbres relativas a los modos de fallo y las necesidades a las que nos enfrentamos.

Conclusiones relativas al sistema propuesto para la renovación de las gazas de las amarras

Con relativa frecuencia, el armador del buque solicita la renovación de las gazas de los cabos de alambre con el fin de prolongar su vida útil como uno de los diversos trabajos integrados en la especificación de reparación. El hecho de que no exista ningún taller próximo que pueda realizar esta tarea y obligue a su desmontaje y envío a cientos de kilómetros de distancia, hace que una labor ordinaria como la citada, induzca dos elementos de riesgo importantes:

1. Incertidumbre de cumplimiento del plazo de ejecución, derivada de posibles retrasos en el transporte o de la imposibilidad de un seguimiento continuo del trabajo en el taller debido a su lejanía con el cliente.
2. Debilidad resultante en el sistema de amarre, como consecuencia del proceso de sustitución de las amarras propias del buque por otras, propiedad del astillero, que en ocasiones no pueden montarse sobre los carreteles.

La aparición en escena de un fenómeno meteorológico adverso en estas circunstancias supone una condición de riesgo especial que ha merecido la dedicación de una sección específica (8.4), especialmente si se tiene en cuenta que la casualidad ha propiciado la coincidencia de ambos factores en diversas ocasiones a lo largo de los últimos años.

La búsqueda de posibles alternativas que minimicen este riesgo ha requerido el análisis detallado del proceso de montaje de los casquillos que afirman la gaza, a través del estudio de la normativa que lo regula (norma EN 13411-3), así como el desplazamiento a un taller especializado, con el fin de conocer esta técnica en detalle.

La experiencia adquirida ha permitido la identificación de dos posibilidades distintas (adquisición de una prensa específica o la adaptación de otra disponible en el Astillero), que han sido posteriormente analizadas desde el punto de vista económico, con el fin de definir ambos periodos de recuperación de la inversión (PRI) y, finalmente, decidir aquella más apropiada.

Derivado de este estudio ha resultado el encargo de una prensa GERRO de 1000 toneladas de fuerza por parte de una empresa subcontratista habitual, que deberá recibirse a lo largo del año 2014, para adaptarse posteriormente con el objeto de configurarle la movilidad que se le requiere.

Conclusiones relativas a la Gestión de la Emergencia

Nuestro Trabajo resultaría estéril si las conclusiones que de él se derivaran no fuesen puestas en valor, implementándose en forma de procedimientos en la Empresa. Los soportes adecuados para plasmarlas y que posibiliten su uso efectivo y revisión en el futuro han de ser acordes a su propia naturaleza, por lo que se corresponderán con dos vías de registro diferentes:

1. **Procedimientos de calidad**, en los que tendrá cabida la caracterización de las condiciones particulares de los muelles, el cálculo de amarres diseñado, los análisis de los medios de atraque y amarre, el proceso de notificación de las predicciones meteorológicas, los métodos y registros del montaje de los casquillos que conforman las gazas de los cabos de alambre o la guía de actuación en caso de fallo de alimentación eléctrica.
2. **Protocolo de Actuación ante Inclemencias Meteorológicas**, que integrará las lecciones aprendidas acerca de las posibles alternativas de refuerzo de las amarras.

Este último documento, desarrollado por el Departamento de Prevención de Navantia en el año 2010, ha sido objeto de nuestro análisis minucioso por constituirse en la plataforma que regulará las actuaciones relativas a la gestión de una Emergencia de estas características, al objeto de facilitar una coordinación efectiva de los medios disponibles (segundo de los objetivos fijados en este trabajo de investigación).

La Gestión de las Emergencias, al igual que cualquier otro proceso de Dirección, se compone de una fase de preparación que abarca implícitamente el objetivo de evitar en lo posible la improvisación en la toma posterior de decisiones (respuesta al desastre). Siendo conocedores de la trascendental importancia de dicha etapa, nuestros esfuerzos se han dirigido en este ámbito al estudio de las necesidades y a la elaboración de guías y formatos que faciliten al Comité de Emergencia, independientemente de su composición, una gerencia básica que no permita que ciertos temas relevantes puedan dejar de tomarse en consideración.

Por tal motivo, se han propuesto una serie de acciones que habrán de integrarse en el Protocolo actual que, de forma resumida, se relacionan a continuación:

- Desarrollar el organigrama de la Lucha contra la Emergencia hasta el nivel de Grupos de Respuesta, estableciendo el personal responsable y sus funciones, asignando la plantilla suplente y creando una lista interna de contactos.
- Mejorar los medios del Centro de Control de la Emergencia, a fin de dotarlo de las herramientas necesarias que faciliten una coordinación adecuada, para lo que las vías de comunicación con los buques poseen una especial relevancia.
- Implementar el formato propuesto para proporcionar un esquema fiable y global de la situación que nos permita conocer a primera vista el número de buques que se encuentran en el astillero, su situación, su riesgo potencial y las vías de comunicación habilitadas.
- Establecer el proceso básico que asegure la adecuada difusión de la alerta y de la constitución del Comité de Emergencia y que contemple a todas las partes implicadas:
 - El personal propio, para el que existe una instrucción interna que contiene la lista de distribución oficial.
 - Los capitanes de los buques. A tal fin, se ha desarrollado un formato de comunicación específico (en lengua castellana e inglesa) que, oficialmente, advierte de la alerta, sus riesgos principales, el establecimiento del Comité de Emergencia y las vías de comunicación designadas.
 - Los responsables de los planes de Emergencia superiores. Dada la fragmentación actual de los mismos, en correspondencia a su categorización local, autonómica o nacional, la identificación del nivel inmediato superior no ha sido una tarea fácil y ha requerido un intenso análisis de la legislación actual. Como resultado de tal labor se han presentado un esquema de actuación simplificado, así como un formato de comunicación confirmando que el Comité de Emergencia ha sido constituido.
- Lista de comprobación general de tareas que incluya la nominación del personal responsable de cada una de ellas, con el fin de facilitar el reparto de funciones y mejorar la efectividad del grupo de gestión, así como la puesta en escena de interrogantes que requerirán la respuesta del Comité, en función de las condiciones específicas de la Emergencia (requerimiento de la presencia de un práctico, auxilio de remolcadores, establecimiento de turnos, etc.).

El traslado de esta Documentación a los Procedimientos de la Empresa constituye la única manera de mantener vivo el Trabajo realizado, que seguramente necesitará de posteriores modificaciones, como resultado de la aparición de nuevos condicionantes o futuras lecciones aprendidas.

10.2 DIRECTRICES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

10.2.1 INTRODUCCIÓN

La orientación de las futuras investigaciones ha de venir determinada necesariamente como resultado de un proceso de “*mejora continua*” que pueda adaptar la empresa a los cambios del mercado, cada vez más rápidos y drásticos, que le permitan mantener su diferenciación con la competencia.

Como ya mencionamos en la introducción al presente Capítulo, este desarrollo necesita canalizarse hacia la satisfacción de las necesidades de los clientes (variables, tanto en el transcurso del tiempo, como en función de su caracterización), o hacia la búsqueda de una reducción de costes derivada, normalmente, de un incremento de la productividad.

Al igual que el marketing moderno, los principios de la mejora continua tratan de cambiar la compañía en todos y cada uno de sus estamentos, aunando los esfuerzos del personal en una filosofía común dirigida a romper los moldes que propiciaron buenos resultados en el pasado, reenfoándose hacia la rentabilidad de los procesos y el cumplimiento de los requerimientos del mercado.

Este cambio de dirección conlleva un esfuerzo personal muy intenso a todos los niveles que permita vencer la barrera humana de resistencia al cambio, a través del compromiso, la disciplina y la aceptación de un proceso de aprendizaje continuo.

En el sector de las empresas de base tecnológica, como en la que nos movemos, subyace el riesgo de “*querer al producto más que al cliente*”, alcanzando un grado de satisfacción por los logros conseguidos tal, que pudiera dar pie a intentar cambiar al cliente para adecuarlo al producto. El efecto de estancamiento resultante terminaría por desplazarla del mercado, poniendo en serio peligro su supervivencia.

Tomado en consideración lo expuesto en el párrafo anterior, las claves del desarrollo se centrarán en entender las necesidades de los clientes, además de definir la competencia al objeto de incrementar el valor diferencial ofrecido hasta ahora.

El cliente del mundo de las reparaciones navales se personaliza en la forma de uno o varios inspectores de habla inglesa, convertidos en embajadores de su naviera, que residen temporalmente fuera de su hogar y, por tanto, no conocen horarios, fines de semana o festivos. Ellos serán quienes, a la postre, analizarán de primera mano la labor realizada por el astillero. Sus preocupaciones se centran en mantener la imagen de su empresa (para lo que la aparición de un accidente constituirá una seria amenaza), cumplir los compromisos contractuales (realizando la reparación en el plazo acordado y con la calidad debida), a la vez de asegurarse de poder justificar los costes repercutidos.

Por ello, los valores de Prevención, Plazo, Calidad y Productividad han de permanecer vivos en el día a día de todos y cada uno de los procesos, y marcarán la dirección hacia la que se orientará la detección de oportunidades y amenazas que puedan impulsar acciones de mejora realmente eficaces.

Con relación al tema que nos ocupa, hemos identificado tres vías de desarrollo que cumplen estos principios y, por tanto, entendemos que son merecedoras de recibir la inversión de los esfuerzos

necesarios que favorezcan un análisis más profundo para su posible implantación. En las siguientes líneas abordaremos de forma resumida cada una de ellas.

10.2.2 CONTINUIDAD DEL TRABAJO EMPRENDIDO

El transcurrir de los cinco años de tarea investigadora que culmina con la presente Tesis nos ha brindado la posibilidad de concluir una larga lista de acciones destinadas a minimizar los riesgos detectados. Sin embargo, este tiempo ha resultado insuficiente para afrontar su totalidad, por razones relacionadas con su complejidad de implementación, o por su dependencia de factores externos, entre los que cabe destacar aquellos de origen económico.

Tales limitaciones han propiciado que ciertas tareas continúen incompletas, unas pendientes de ejecución, por encontrarse asociadas a un plan de inversiones y otras, de la revisión de procedimientos. Entre todas ellas, cabe destacar:

- La modificación del plan de emergencia, a través de la implantación de los documentos propuestos, el desarrollo completo del organigrama de respuesta y la integración de los planes existentes (Autoprotección, Inclemencias Meteorológicas y Contingencia por Contaminación Marina) en un único procedimiento.
- La continuación del programa de inversiones de mejora de amarres, ejecutando las obras restantes en el muelle 10 de Fene.
- La activación de un plan destinado a la conexión de generadores siguiendo las especificaciones diseñadas y de acuerdo a las prioridades marcadas por la propia secuencia de fases tecnológicas.
- El diseño de un contenedor que pueda alojar la prensa necesaria para el montaje de los casquillos que conforman las gazas de los cabos de alambre, de manera que asegure su protección contra la intemperie a la vez de facilitar su movilidad a pie de noray. Asimismo, será necesaria la elaboración de un formato de registro que posibilite la certificación del seguimiento de la norma ISO de referencia.

Por otro lado, creemos necesario insistir que la integración de la Tesis en los procedimientos de la empresa permitirá que ésta se mantenga “viva” en el tiempo, a través de las oportunas revisiones y la continua verificación de los hallazgos obtenidos.

10.2.3 FRENOS DE LAS MAQUINILLAS

Hemos visto que los frenos de las maquinillas componen el elemento más importante del sistema de amarre del buque por los motivos siguientes:

1. Desde el punto de vista preventivo, su correcto funcionamiento evita la rotura del cabo que laborean, impidiendo que alcance su límite elástico al permitir su arriado al 60% del *MBL*. De

ello se deriva una sustancial minimización del riesgo de un accidente que pudiera afectar a las personas situadas en su radio de acción.

2. Desde el punto de vista de la resistencia global del sistema de amarre, conforman el único dispositivo capaz de equilibrar las tensiones entre los cabos sin dependencia de la actuación humana, que, por otro lado, podría resultar inoperativa en condiciones climáticas extremas.

A pesar de la repercusión en ambos aspectos, su trascendencia no se ve reflejada en la normativa de las Sociedades de Clasificación ni tampoco en los requerimientos de la bandera de registro del buque. No obstante, parece justo reconocer que la mejora experimentada en la última década por estos dispositivos ha venido únicamente de la mano de las nuevas recomendaciones publicadas por la *OCIMF*¹³⁴ en el año 2008.

Esta guía de referencia trata de dar soluciones a los problemas que se derivan de las limitaciones propias del sistema, cuyo funcionamiento se basa en la fuerza de fricción generada entre una banda de ferodo y un tambor de acero dulce o fundición que es función directa de la tensión aplicada al mecanismo de apriete y del coeficiente de rozamiento entre ambas superficies, variable con la rugosidad superficial y la presencia de contaminantes.

Una herramienta tan simple como la descrita encuentra los siguientes condicionantes que dificultan su correcto funcionamiento:

- **Tambores no divididos:** El control de la tensión de arriado cuando se emplea este tipo de tambores depende exclusivamente de la habilidad y conocimientos del operador, que ha de aplicar una tensión diferente a la banda de freno en función del número de vueltas de cabo presentes en cada momento en el carretel, introduciendo en el sistema la incertidumbre propia de la dependencia humana, que le confiere un grado de inseguridad importante. No es entendible, por tanto, que la *OCIMF* no se haya posicionado en contra de la utilización de esta opción de diseño, ya que la única forma de traducir la tensión soportada por el cabo es a través del momento generado en el carretel, considerando su brazo como una constante (véase la Sección 2.5). En cualquier caso, podemos confirmar que la inmensa mayoría de los buques dedicados al transporte de gas licuado modernos abandonaron el astillero de construcción con sus carreteles divididos y aquellos de mayor edad han sido ya modificados para adaptarse a esta disposición.
- **Presencia de humedad, aceites o grasas:** La presencia de contaminantes en las superficies de contacto (ferodo o tambor de frenado) modifican el coeficiente de rozamiento y, por tanto, introducen un error en el sistema, de forma que del mismo par aplicado al volante de frenado

¹³⁴ A las que dedica de forma íntegra la Sección 7 de la Tercera Edición de “*Mooring Equipment Guidelines*”.

resultará una menor fuerza de rozamiento y, por tanto, un menor momento de frenado que se traduce en el arriado a menor tensión de la debida. La solución propuesta por la *OCIMF* de virar la maquinilla con el freno aplicado suavemente aminora el problema pero presenta el inconveniente de reducir la vida útil de los ferodos.

- **Presencia de óxido:** La corrosión proveniente del tambor de frenado reduce la superficie de contacto a la vez que modifica el coeficiente de rozamiento. La aportación de soldadura de acero inoxidable sobre aquel evita este efecto, pero presenta el problema de una baja rugosidad superficial que en muchos casos impide alcanzar el par de frenado requerido.

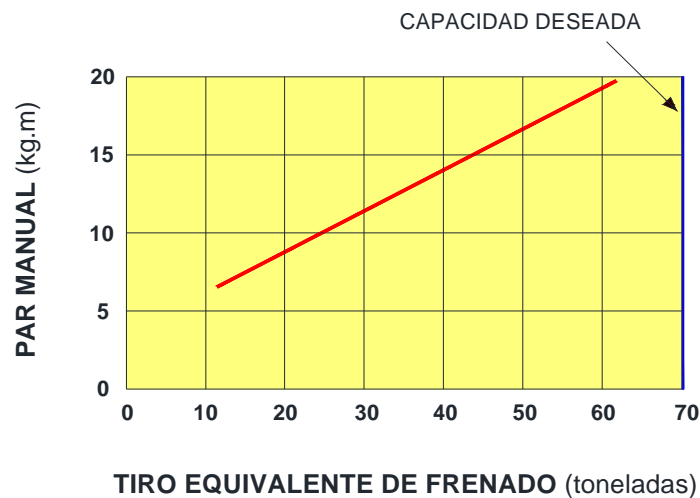


Figura 10.8 Reducción del tiro de frenado en función del par aplicado al volante de freno. Fuente: Autor

- **Desgaste del ferodo e incremento de huelgos en los bulones de transmisión:** La pérdida de espesor del ferodo debida al desgaste producido por su propio trabajo causa una reducción del par de frenado, ya que para una misma posición del volante se obtendrá una tensión menor sobre la banda de acero que lo soporta, induciendo con ello una fuerza de rozamiento menor. Este mismo efecto se produce como consecuencia del incremento de huelgos en las articulaciones del sistema. Ambas anomalías de funcionamiento pueden ser corregidas de dos formas diferentes:
 1. La realización de pruebas de frenado periódicas, prescritas por la *OCIMF* para su ejecución anual o como resultado de un mantenimiento que haya requerido la renovación del ferodo, que permiten el reajuste del par aplicado al volante del freno a su valor correcto. La figura 10.8 muestra la relación entre éste y el tiro equivalente en el momento de que el carretel comienza a arriar.
 2. La intercalación de un resorte y un indicador a modo de dinamómetro en el sistema (de acuerdo a la disposición mostrada en la figura 2.25) nos permitirá observar en todo momento la tensión aplicada. Algunos fabricantes incorporan, además un conjunto

cilindro-pistón de accionamiento hidráulico que permite “*desfrenar*” y frenar la maquinilla sin necesidad de mover el volante, manteniendo invariable, por tanto, su punto de ajuste.

A la vista de los problemas presentados y los diferentes grados de efectividad de las soluciones propuestas por la OCIMF, se identifican tres vías distintas de desarrollo para la mejora de su conjunto:

1. Diseño de un sistema que permita incorporar las ventajas aportadas por el resorte y el mecanismo hidráulico de “*desfrenado*” a los buques que no disponen en origen de este dispositivo. El dimensionamiento de los componentes necesarios se obtendrá a partir del cálculo de las fuerzas presentes en cada escenario contemplado. Una vez obtenidos los resultados, un estudio económico que tenga en cuenta tanto los costes propios de producción como los de aprovisionamiento de materiales y equipos (bomba, cilindro hidráulico, etc.), determinará un precio de referencia que pueda ser ofrecido a los clientes a modo de “*llave en mano*”.
2. Desarrollo de un proceso que permita aportar la rugosidad necesaria a los tambores de frenado recubiertos con acero inoxidable. El procedimiento adoptado debe permitir su realización a bordo, sin necesidad de desplazar la máquina a un taller con el fin de reducir los costes de ejecución. Se han identificado diversas alternativas (chorreo con granalla del tambor o moleteado mecánico), que necesitarán de la realización de las pruebas oportunas, así como de un estudio de viabilidad, tanto desde el punto de vista de calidad de acabado, como de sus costes de producción.
3. Aunque el sistema de resortes descrito soluciona una buena parte de los problemas identificados (desgaste de ferodo, incremento de huelgos en las articulaciones), la presencia de contaminantes, el pulido de las superficies de contacto o las deformaciones que la banda de frenado pueda sufrir a lo largo de su ciclo de vida útil, continuarán introduciendo un error en el sistema que dará como resultado una capacidad de frenado menor que la teórica.

La solución a estos problemas habría de partir del conocimiento del momento real que está soportando el carretel (en correspondencia con la tensión soportada por el cabo), cuantificable, bien sea a través de su propia torsión o por la reacción del mecanismo de frenado contra su punto de fijación sobre la cubierta del buque. Como quiera que la primera de las alternativas depende de la posición axial del cabo, se nos antoja que el dato más fiable es la medida de la fuerza transmitida al arraigado.

La incorporación de una célula de carga en este punto (véase la figura 10.9) permitiría determinar su valor de manera instantánea.

El armario de control compara la medida recibida con el punto de ajuste establecido y, en el caso de superar tal límite, envía una señal eléctrica a la electroválvula de tres vías que, dejando fluir aceite desde

la línea de presión al interior del cilindro hidráulico, desfrena el tambor, permitiendo el arriado del cabo. Una vez recuperado un valor admisible, la electroválvula quedará sin tensión y el tambor de la maquinilla recupera su posición de frenado.

Una válvula de control de caudal, intercalada entre la línea de presión y la válvula de tres vías, permite ajustar la velocidad de esta operación.

Sistemas similares al propuesto pueden encontrarse instalados en las terminales de carga y descarga de gas natural. Su diseño, en este caso particular, permite la doble función de mostrar en una pantalla las fuerzas soportadas por los ganchos del muelle que sirven para la afirmación de los cabos mientras el buque se encuentra amarrado, además de ofrecer la posibilidad de abrir éstos desde una posición remota para liberar las amarras ante una situación de emergencia, permitiendo su salida a la mar.

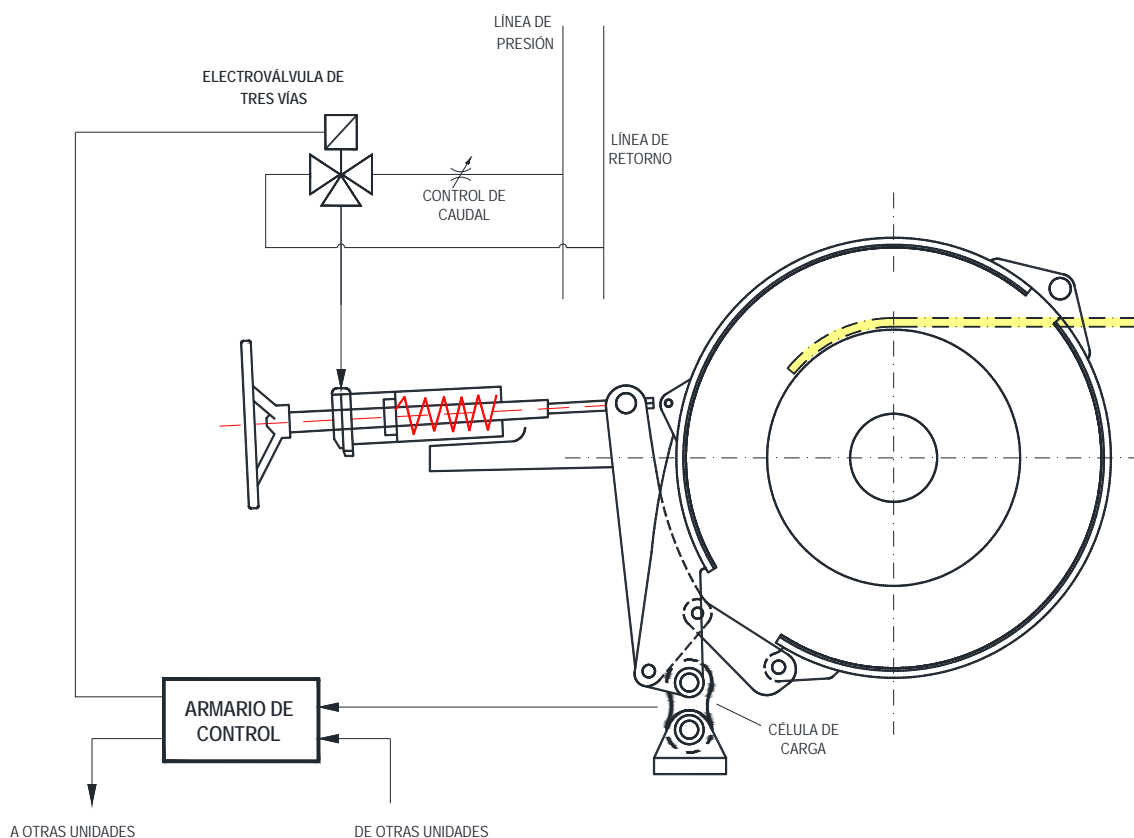


Figura 10.9 Control de frenado electrónico. Fuente: Autor

Como contrapartida, resulta oportuno resaltar que los sistemas electrónicos presentan una acusada debilidad al ambiente marino, de manera particular en aquellas zonas especialmente expuestas, como es el castillo de proa. Sin embargo, en los últimos años han sufrido un desarrollo muy notable en términos de robustez y estanqueidad que propician su progresiva incorporación en estas áreas.

10.2.4 ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ADAPTACIÓN DE UN MUELLE PARA LA REPARACIÓN EN CONDICIONES DIFERENTES A GAS-FREE

El buque moderno se encuentra concebido desde su etapa de diseño con el propósito de navegar y realizar las operaciones de carga y descarga de la forma más segura y eficiente posible. De esta manera, las velocidades de navegación y operación, su capacidad de carga y los costes de explotación son parámetros de exigencia común en los contratos de fletamento, cada vez más competitivos y estrictos en su cumplimiento y que dejan muy poco margen para posibles averías, lo que convierten la fiabilidad en un valor fundamental.

El mantenimiento operativo habitual se halla cubierto en condiciones normales por la tripulación del buque. Solamente en aquellos casos donde se requiera un servicio técnico muy especializado o un número importante de personal para acometer tareas determinadas, los armadores recurren a la contratación de servicios externos que conviven con el buque en operación y su duración en el tiempo se limita a la finalización del trabajo encomendado. El coste repercutido es elevado, pero poseen la gran ventaja de no interferir con el contrato de fletamento.

Por el contrario, su estancia en el astillero impide el cumplimiento de sus obligaciones a la vez que genera unos gastos importantes, lo que trae como consecuencia que ésta haya de limitarse a su mínima duración y a los casos estrictamente necesarios, entre los que podemos citar:

- La necesidad de cumplir con las exigencias periódicas de su Sociedad de Clasificación, especialmente aquellas relacionadas con inspecciones que precisan de su puesta en seco, lo que configura el escenario más habitual.
- La reforma compleja de sistemas con el fin de adaptarse a nuevas exigencias, bien legales o relacionadas con un nuevo contrato (montaje de plantas de regasificación, adaptación al consumo de nuevos combustibles, etc.).
- Los mantenimientos programados o averías mecánicas que no permitan su navegación (trabajos extensos en el motor principal, turbina principal, línea de ejes).
- La reparación de daños importantes derivados de colisiones, golpes de mar, etc.
- La necesidad de maniobrar grandes pesos para acometer ciertas tareas, tales como el cambio de un ancla o de una cadena, desembarque de un generador o un motor eléctrico de importantes dimensiones para su rebobinado, etc. En estas circunstancias, las grúas de los muelles adquieren un valor estratégico.
- En general, cuando sea necesario depender de unos medios, conocimientos y/o una estructura organizada que pueda acometer grandes trabajos en un plazo reducido.

Estas operaciones adquieren mayor relevancia, si cabe, en el mundo del transporte del gas licuado por ciertos aspectos que le caracterizan:

1. La necesidad de modificar la atmósfera del interior de los tanques de carga para conseguir la condición de *gas-free*¹³⁵, imprescindible para proceder a la entrada en el astillero, tiene una importante repercusión en coste y tiempo, si tenemos en cuenta que para alcanzar tal estado es necesario, en primer lugar, gasificar el gas natural presente en su fase líquida (“*warming up*”) y consumirlo con los medios propios del buque (motores o calderas), a continuación, proceder a su barrido con gas inerte (“*inerting*”) y, por último, ventilar con aire seco. La duración total de estas operaciones supone alrededor de cuatro días.
2. La altísima cotización diaria de los fletes en este mercado, debida fundamentalmente al elevado precio de construcción del buque, que se deriva de su complejidad técnica, magnifica cualquier demora producida en el astillero.
3. Una vez finalizada la reparación, es necesario volver a inertizar los tanques. Aunque esta operación puede realizarse de manera simultánea a la navegación hasta el puerto de carga, una vez allí, se produce otra demora importante derivada de la necesidad de sustituir esta atmósfera por la de gas natural en su fase gas¹³⁶ (“*gassing-up*”) para luego enfriar los tanques lentamente pulverizando líquido desde su parte superior (“*cooling down*”), que prolonga la inoperatividad del buque en, al menos, otros tres días.
4. Por último, se ha de tener en cuenta que el viaje desde la salida del astillero al puerto de carga ha de realizarse consumiendo fueloil (en caso de que el buque se mueva por la acción de una turbina de vapor) o diésel (para aquellos de propulsión eléctrica o motor de dos tiempos), que implica un coste de combustible muy superior al habitual, por su elevada relación de precio de mercado con respecto al gas natural.

Este escenario nos brinda la oportunidad inmejorable de ser pioneros en este aspecto, ofreciendo a los clientes un nuevo servicio enmarcado en la realización de ciertos trabajos, previamente definidos, a realizar con el buque en condición gas, aunque para ello se hayan de establecer procedimientos especiales de actuación e incluso acciones de inversión en alguno de los muelles disponibles.

El primer paso será estudiar la viabilidad real de esta idea, lo que requerirá la formación de un grupo de trabajo multidisciplinar, donde tendrán cabida técnicos de prevención de riesgos laborales, profesionales del astillero, operadores de carga de los buques de clientes habituales, así como facilitadores en técnicas

¹³⁵ La condición *gas-free* está determinada por un contenido de oxígeno mayor del 20% y menos de 1% de CH₄ en volumen.

¹³⁶ Los parámetros que delimitan esta condición corresponden a un contenido de gas del 99% y un máximo de 1% de mezcla de O₂ y CO₂.

de evaluación de riesgos, tales como HAZOP o HAZID¹³⁷, que habrán de definir en conjunto los aspectos siguientes:

- La ausencia de incompatibilidades con la legislación española o internacional, a través de las recomendaciones *OCIMF* o *SIGGTO*.
- La identificación de los posibles trabajos a realizar y su estructuración en grupos de características similares.
- El análisis de los riesgos de las operaciones definidas y las posibles consecuencias que se derivarían de los mismos.
- El estudio de las medidas mitigadoras que podrían reducir la probabilidad de los riesgos detectados hasta niveles aceptables y su viabilidad.
- La identificación de las medidas de contingencia que podrían disminuir el efecto de las consecuencias de un posible accidente y su impacto en términos económicos.

¹³⁷ HAZID (*HAZard IDentification*) es una técnica de detección de riesgos y evaluación de consecuencias que utiliza una metodología estructurada que se basa en el planteamiento de cuestiones del tipo “¿qué pasa si...?”. HAZOP (*HAZard and OPerability*), sin embargo, se centra en identificar los riesgos desde el punto de vista operativo, a través del estudio de los diagramas de flujo.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- [1]. AGGREKO (2013). “*Soluciones de suministro de energía temporal*”. AGGREKO IBERIA, S.A., Barberá del Vallés. Disponible en: <http://www.aggreko.es> (última consulta: 30 agosto 2013).
- [2]. Álvarez, I. (2005). “*Hidrografía e hidrodinámica de los estuarios gallegos bajo la influencia de forzamientos externos*”. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Vigo. Disponible en: <http://www.ephyslab.uvigo.es> (última consulta: 02 febrero 2012).
- [3]. Álvarez, J. (2002). “*El siniestro del buque Prestige: realidad jurídica en presencia y delimitación de responsabilidades*”, Real Instituto Elcano. Disponible en: <http://www.realinstitutoelcano.org> (última consulta: 22 octubre 2013).
- [4]. Álvarez, R. (2013). “*Allision: “Choque de buques contra instalaciones portuarias - Malos tiempos. Régimen Legal Aplicable*”, Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios. Disponible en: <http://www.aadip.org> (última consulta: 27 diciembre 2013).
- [5]. Andrés, M. (2004). *Outlook 2003. Guía práctica para usuarios*. Ed. Anaya Multimedia, 2009.
- [6]. Antoniou, A. (2011) “*Safety on ships in yard: Ship and Yard measures/responsibilities*”. Disponible en: <http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com> (última consulta: 14 noviembre 2013).
- [7]. Argeschou, H. (1984). *Planning and design of ports and marine terminals*, John Wiley & Sons, USA.
- [8]. ASCE/P&H Mooring Analysis Task Committee (2013). *Mooring of Ships to Piers & Wharves*, John W. Gaythwaite, Chairman. Disponible en: <http://www.asce.org> (última consulta: 11 diciembre 2013).
- [9]. ATSB (2008). “*Independent investigation into the breakaway and grounding of the Hong Kong registered bulk carrier Creciente at Port Hedland, Western Australia, 12 September 2006*”, Australian Transport Safety Bureau, Canberra City. Disponible en: <http://www.atsb.gov.au> (última consulta: 08 diciembre 2013).
- [10]. Baur, T., Weiler, O. and Van Vossen, B. (2006). “*Current Forces on Moored Ships affected by Land Reclamation for new JadeWeserPort*”. Third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering. National Cheng Kung University, Taiwam. Disponible en: <http://www.comc.ncku.edu> (última consulta: 01 septiembre 2012).
- [11]. BENNMO MARINE AB (2013). “*Safety Bitt ORIGINAL*”, Sweden. Disponible en: <http://www.safetybitt.com> (última consulta: 13 julio 2013).
- [12]. Billboard Engineering Co. (2012). *Mooring Equipment Catalogue*, Foshan, China. Disponible en: <http://www.billboard.com> (última consulta: 13 septiembre 2013).
- [13]. BIMCO (2002). *BIMCO Standard Shiprepair Contract*, Denmark. Disponible en: <https://www.bimco.org> (última consulta: 19 diciembre 2013).

- [14]. Bland Will (2011). “*Mooring: The Respective Duties and Responsibilities of Vessel and Wharfinger*”, Navigable Waters, U.S.A. Disponible en: <http://navwaters.com> (última consulta: 21 diciembre 2013).
- [15]. BRIDON (2011). “*Fibre Rope Catalogue*”. South Yorkshire (U.K.). Disponible en: <http://www.bridon.com> (última consulta: 30 septiembre 2012).
- [16]. Bruun, P. (1989). *Port Engineering, 4th Ed, Vol. 1*, Gulf Publishing Co., Houston, TX.
- [17]. BSU (2008). “*Personal accident with stern line on the MS NORTHERN FAITH on July 2007 in the port of Koper*”, Investigation report 302/07, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Germany. Disponible en: <http://www.bsu-bund.de> (última consulta: 24 noviembre 2013).
- [18]. Cabalar, M. (2004). “*Los temporales de lluvia y viento en Galicia. Propuesta de clasificación y análisis de tendencias (1961-2001)*”. Investigaciones geográficas, nº36, pp. 103-118. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. Disponible en: <http://www.rua.ua.es> (última consulta: 30 enero 2012).
- [19]. Calavera, J. (2000). *Cálculo de Estructuras de Cimentación*, 4ª Ed., Intemac Ediciones.
- [20]. Castillo, F. (2001). “*Estudio sinóptico y analítico de la precipitación en Galicia*”. Universidade de Santiago de Compostela. Disponible en: <http://www.usc.es> (última consulta: 02 febrero 2012).
- [21]. CATERPILLAR (2013). “*Soluciones temporales para Control de temperatura y Generación de energía*”. CAT RENTAL POWER, Madrid. Disponible en: <http://www.energyst.es> (última consulta: 30 agosto 2013).
- [22]. Center for Chemical Process Safety (1999). *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Wiley, New York.
- [23]. CESMA (2009). “*Cesma Newsletter no. 48 / July 2009*”, The Netherlands. Disponible en: <http://www.ukptmz.hr> (última consulta: 07 octubre 2013).
- [24]. Charre, F. (2010). *Word 2010*, Colección Manuales Imprescindibles, Grupo Anaya, Madrid.
- [25]. CIAIM (2011). “*Investigación del accidente del buque MSC FANTASÍA en la Estación Marítima del muelle de Poniente Sur del puerto de Palma de Mallorca, el 5 de marzo de 2009*”, Informe técnico A-17/2011, Ministerio de Fomento. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es> (última consulta: 22 octubre 2013).
- [26]. CIAIM (2011). “*Investigación del accidente del buque tanque MAR VICTORIA en el puerto Bahía de Algeciras, el 10 de octubre 2008*”, Informe técnico S-14/2011, Ministerio de Fomento. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es> (última consulta: 04 noviembre 2013).
- [27]. Clark, I.C. (2009). *Mooring & Anchoring Ships, Vol. 1: Principles & Practice*, The Nautical Institute, London, UK.
- [28]. Comas, E. (1999). *Equipos y Servicios*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid.

- [29]. Comité de Industrias y Servicios para la Defensa (2004). *Recomendaciones para la elaboración de planes de gestión de riesgos*. Asociación Española para la Calidad, Madrid.
- [30]. Court of Appeals eleventh circuit (2001). “*Burge Corporation, Ranger Insurance, Co. v. Freeport Marine Repair, Inc.*”, U.S.A. Disponible en: <http://openjurist.org> (última consulta: 29 diciembre 2013).
- [31]. Da Costa, D. (2006). *Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puertos*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponible en: <http://repositorio-aberto.up.pt> (última consulta: 25 noviembre 2013).
- [32]. DANISH MARITIME (2000). “*General conditions for ship repairs and conversions*”, Danmark. Disponible en: <http://www.danskemaritime.dk> (última consulta: 20 septiembre 2013).
- [33]. Davenport, A. (1967). *Gust loading factors*, J. Struct. Div., ASCE, 93(3).
- [34]. De Kat, J. and Wichers, J. (1991). *Behaviour of a Moored Ship in Unsteady Current, Wind & Waves*, SNAME, Marine Technology.
- [35]. De la Puerta, F. (2007). “*Guía para la selección y aplicación de técnicas PHA (análisis de peligros de procesos)*”. Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <https://upcommons.upc> (última consulta: 10 marzo 2014).
- [36]. Díaz, F. (2008). “*Historia da Meteoroloxía e da Climatoloxía de Galicia*”, Consello da Cultura Galega, Santiago de Compostela. Disponible en: <http://www.meteogalicia.es> (última consulta: 10 enero 2012).
- [37]. Echarri, L. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Editorial Teide.
- [38]. ELECTRORAYMA (2010). “*Adecuación cuadros generadores portátiles central dique 4, Navantia Fene*”. ElectroRayma, S.L., Narón.
- [39]. ELECTRORAYMA (2010). “*Adecuación cuadros generadores portátiles central popa dique 5, Navantia Fene*”. ElectroRayma, S.L., Narón.
- [40]. ELECTRORAYMA (2010). “*Adecuación cuadros generadores portátiles central proa dique 5, Navantia Fene*”. ElectroRayma, S.L., Narón.
- [41]. ELECTRORAYMA (2011). “*Instalación de grupo electrógeno en Central nº 1, Carenas, Ferrol*”. ElectroRayma, S.L., Narón.
- [42]. Faltinsen, O. (1990). *Sea Loads on Ships & Offshore Structures*, Cambridge University Press, UK.
- [43]. Fernández, R., Lakkis, G., Allende, D., Santos, R., Cremades, P. y Puliafito, E. (2011). “*Modelación de un evento meteorológico de mesoescala utilizando el modelo WRF*”. Universidad Tecnológica Nacional (Argentina). Disponible en: <http://www.uca.edu> (última consulta: 07 marzo 2013).
- [44]. Festo Didactic (1978). *Curso de neumática para la formación profesional. Manual del estudio*. Esslingen (Alemania).

- [45]. Flory, J. (2001). *A Method for Estimating Passing Ship Forces*, ASCE, PORTS 2001, Norfolk, VA
- [46]. Flory, J. and Fenical, S. (2010). *Quay Wall Influence on Passing Vessel Induced Mooring Loads*, ASCE, PORTS 2010, Jacksonville, Florida.
- [47]. Flory, J., Banfield, S. and Dr. Ractliff, A. (2012). “*Computer Mooring Load Analysis to Improve Port Operations and Safety*”, Tension Technology International, U.K. Disponible en: <http://www.tensiontech.com> (última consulta: 03 marzo 2012).
- [48]. Flory, J.F. (1998). *Good and Not So Good Mooring Practices*, Oil Spill Prevention Symposium, CSLC, Long Beach, California.
- [49]. Fontestad, L. (2003). “*El Transporte Marítimo de mercancías y sus incidencias procesales*”, Facultad de Derecho de la Universidad de Málaga. Disponible en: <http://riuma.uma.es> (última consulta: 07 octubre 2013).
- [50]. Foster, G., McKenna, H., Monaco, A. and Cordage Institute (1997). *Fibre Rope Technical Information and Application Manual*, 2nd Ed., The Cordage Institute Technical Information Service, Hingham, USA.
- [51]. Franco, A. (2010). “*El rozamiento por deslizamiento*”. Universidad del País Vasco, San Sebastián. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es> (última consulta: 20 octubre 2012).
- [52]. GAM (2013). “*Catálogo general de maquinaria*”. General de Alquiler de Maquinaria, S.A., A Coruña. Disponible en: <http://www.gamalquiler.es> (última consulta: 06 agosto 2013).
- [53]. García, M. y Martín, M. (2008). “*Análisis comparativo entre medidas de campo de corrientes en la ría de Ferrol y las obtenidas mediante modelación numérica*”. Ingeniería Civil 151/2008, pp. 115-123. Disponible en: <http://www.hispagua.cedex.es> (última consulta: 15 diciembre 2011).
- [54]. GARD AS (2008). “*Moored vessels breaking out from their berths*”, Loss Prevention Circular no. 13-08, Norway. Disponible en: <http://www.gard.no> (última consulta: 12 septiembre 2013).
- [55]. Gaythwaite, J. (1981). *The marine environment and structural design*, Van Nostrand, Reinhold Company, USA.
- [56]. GERMAN DRY DOCKS (2013). “*General terms and conditions for docking and repairs*”, Germany. Disponible en: <http://www.germandrydocks.com> (última consulta: 17 septiembre 2013).
- [57]. Gómez, G. (2006). *Manual para la formación en Prevención de Riesgos Laborales. Curso Superior*, 3^a Ed., Wolters Kluwer España, S.A.
- [58]. Gómez, G. (2006). *Manual para la formación en Prevención de Riesgos Laborales. Especialidad de Seguridad en el trabajo*, 4^a Ed., Wolters Kluwer España, S.A.
- [59]. Hensen, H. (2003). *Tug use in Port. A practical guide*, 2^a Ed., The Nautical Institute, London.
- [60]. Hensen, H. (2003). *Tug Use in Port. A practical guide*, 2^a Edición, The Nautical Institute, London.

-
- [61]. House, D. (2002). *Anchor Practice. A Guide for Industry*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [62]. ICP (2013). "*Tomas de corriente para alta intensidad. Serie A.I.*". International Components Professionals, S.L, Barcelona. Disponible en: <http://www.tecno-ind.cl> (última consulta: 12 julio 2013).
- [63]. Khanna, J. and Sorenson, T. (1980). *Stand -Off Force on Ships Moored in Strong Current*, ASCE, PORTS 80, New York.
- [64]. Kotler, P. (2002). *Social Marketing: Improving the Quality of Life*, 2ª Ed. Thousand Oaks: Sage Publications.
- [65]. LLOYD WERFT (2011). "*General Terms and Conditions for Dock Work and Repairs*", Bremerhaven. Disponible en: <http://www.lloydwerft.com> (última consulta: 21 septiembre 2013).
- [66]. MAIB (2001). "*Report on the investigation of the parting of a mooring line while the Bahamian registered tanker Alfa Britannia was berthing at Tranmere oil terminal causing injuries to crew on board a gig-boat on 18 November 1999*", Marine Accident Investigation Branch, Southampton. Disponible en: <http://www.maib.gov.uk> (última consulta: 24 octubre 2013).
- [67]. MAIB (2008). "*Report on the investigation of the parting of a mooring line on board Dublin Viking alongside at Berth 52 in the Port of Dublin, Ireland resulting in one fatality, 7 August 2007*", Marine Accident Investigation Branch, Southampton. Disponible en: <http://www.maib.gov.uk> (última consulta: 23 octubre 2013).
- [68]. MAIB (2008). "*Report on the investigation of two accidents during berthing and unberthing of Logos II at St Helier, Jersey, 20 and 26 June 2007*", Marine Accident Investigation Branch, Southampton. Disponible en: <http://www.maib.gov.uk> (última consulta: 03 diciembre 2013).
- [69]. MAPCHA (2010). "*Heavy Weather Plan for the Port of Charleston*", Maritime Association of the Port of Charleston. Disponible en: <http://www.nrlmry.navy.mil> (última consulta: 23 febrero 2014).
- [70]. MARIN (2010). "*Assessment of mean wave, wind and current forces on ships*". Maritime Simulation & Software Group, Holanda. Disponible en: <http://www.marin.nl> (última consulta: 18 julio 2012).
- [71]. Martí, A., García, E. y Miragaya, A. (1998). "*Rachas máximas y temporales de viento en Galicia*". Lurrade nº 21, pp. 262-280. Instituto Vasco de Geografía. Disponible en: <http://www.ingeaba.org> (última consulta: 22 enero 2012).
- [72]. Martí, A., Pérez, J. (1997). "*El impacto de los temporales sobre el sector pesquero gallego: el puerto de Laxe*". Dinámica Litoral-Interior, vol. II, pp. 725-736. Universidad de Santiago de Compostela. Disponible en: <http://www.dsplace.usc.es> (última consulta: 30 enero 2012).

- [73]. McKenzie-Moh, D. and Smith, W. (1998). *Sustainable Behaviour*, New Society Publication, Gabriola Island, BC Canada.
- [74]. Mergner, D. (2001). *Docking Handbook 2001*. Fairplay Publications, Ltd. U.K.
- [75]. Metz-Noblat, B., Dumas, F., Thomasset, G. (2002). “*Cálculo de corrientes de cortocircuito*”. Schneider Electric, Cuaderno Técnico nº 158, Barcelona. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com.ar> (última consulta: 10 mayo 2013).
- [76]. Meyers, J., Holm, C., and McAllister, R. (1969), *Wind and Wave Loads, Handbook of Ocean and Underwater Engineering*, McGraw-Hill, 1969.
- [77]. MICROSOFT (1998). *Visual Basic 6.0, manual del programador*, McGraw-Hill, 1998.
- [78]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2005). “*Planes de Emergencia*”, P-PRL-RF-007, Rev. 00. Departamento de Prevención.
- [79]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2006). “*Plan de Emergencia de buques en reparación*”, Procedimiento I-PRL-RF-007-SL-08, Rev. 00. Departamento de Prevención.
- [80]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2009). “*Plan Interior de Contingencias por Contaminación Marina*”, PIC-PE-RF-001, Rev. 01. Departamento de Prevención.
- [81]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2010). “*Consulta actuaciones frente avisos alerta roja*”, Departamento Jurídico Navantia. Departamento de Prevención.
- [82]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2010). “*Protocolo de Actuación ante Inclemencias Meteorológicas*”, I-PRL-RF-007-SL-01, Rev. 01. Departamento de Prevención.
- [83]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2010). “*Trabajos de reparación en buques tanque*”. I-PRL-RF-014-SL-05, Rev. 01. Departamento de Prevención.
- [84]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2011). “*Gestión de Riesgos*”, Procedimiento P-C-CAL-008 Rv.00, Departamento de Calidad.
- [85]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2012). “*Plan de Autoprotección y Emergencia*”, FR-PE-01, Rev. 02. Departamento de Prevención.
- [86]. NAVANTIA RÍA DE FERROL (2014). “*Manual del Sistema de gestión de Prevención de Riesgos Laborales*”, M-RF-PRL, Rev. 02. Departamento de Prevención.
- [87]. NAVSEA (1987). *Calculations for Mooring Systems*, DDS 582-1-C, US Navy Sea Systems Command, Design Data Sheet.
- [88]. Nienhius, U. (1986). “*Simulation of low-frequency motions of dynamically positioned offshore structures*”. Royal Institution of Naval Architects Spring Meeting, London. Disponible en: <http://www.marin.nl> (última consulta: 10 septiembre 2012).
- [89]. Olcina, J. (1994). *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Editorial Penthalón. Madrid.
- [90]. OMS (2000). “*Prevention Bulletin 96-01: The Keystone Canyon*”, Publication #00-08-009, Office of Marine Safety, Washington State, U.S.A. Disponible en: <https://fortress.wa.gov> (última consulta: 14 octubre 2013).

- [91]. Owen, R. (1995). *The Big Book of Sling and Rope Braids: Patterns for Over 250 Braids*, Cassell Illustrated, UK.
- [92]. Palo, P.A. (1983). *Steady Wind & Current Induced Loads on Moored Vessels*, OTC, PN 4530, Houston, TX.
- [93]. Prochaska, J., Norcross, J. and DiClemente, C. (1994). *Changing for Good*, Avon Books, New York.
- [94]. PROES (2010). “*Estudio dinámico amarre del buque NEVA RIVER en muelle 14 de Ferrol*”. Proes Consultores, S.A., Madrid.
- [95]. PUSNES (2013). “*Emergency Towing Systems*”. Aker Pusnes AS, Norway. Disponible en: <http://imistorage.blob.core.windows.net> (última consulta: 07 abril 2013).
- [96]. R.I.N.A. (1993). *Escort Tugs I: Design, Construction & Handling*. Royal Institute of Naval Architects, London.
- [97]. R.I.N.A. (1993). *Escort Tugs II: Defining the Technology*. Royal Institute of Naval Architects, London.
- [98]. Ramírez, C. y Cuevas, J. (2012). “*Sistema automático para la predicción de desastres meteorológicos en las ciudades*”. Ide@s CONCYTEG, 7 (86), pp. 1021-1048. (México). Disponible en: <http://concyteg.gob.mx> (última consulta: 12 marzo 2013).
- [99]. REN - ATLANTICO, S.A. (2013). “*Ship to Shore Sines Port and LNG Jetty Data*”, Portugal. Disponible en: <http://www.shippingatlantico.ren.pt> (última consulta: 07 septiembre 2013).
- [100]. Reyes, A.M. (1999). *Manual Imprescindible de AutoCad 14*, Ediciones Anaya Multimedia, Madrid.
- [101]. Río, F. y Rodríguez, F. (1996). *As augas de Galicia*, Consello da Cultura Galega, pp. 149-211, Santiago de Compostela.
- [102]. Rodrigo de Larrucea, J. (2009). “*Aspectos de la Seguridad Marítima en Buques Remolcadores*”. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu> (última consulta: 25 junio 2013).
- [103]. Rombull Ronets (2012). *Catálogo de Cordelería*, Callosa de Segura, Alicante. Disponible en: <http://www.rombullronets.com> (última consulta: 01 agosto 2013).
- [104]. S. FOLCH (2011). “*Catálogo de productos*”. S. Folch, S.A., Llinars del Vallès (Barcelona). Disponible en: <http://www.folchsa.com> (última consulta: 05 noviembre 2012).
- [105]. SAGGAS (2010). “*Procedimiento de operación de buques de GNL (Gas Natural Licuado)*”, Sagunto. Disponible en: <http://www.saggas.com> (última consulta: 09 septiembre 2013).
- [106]. Samson (2010). “*Mooring Catalogue*”, SamsonRope, Washington. Disponible en: <http://www.samsonrope.com> (última consulta: 03 septiembre 2013).
- [107]. SANMAR SHIPYARD (2013). “*Terms and Conditions*”, Estambul. Disponible en: <http://www.sanmar-eg.com> (última consulta: 06 septiembre 2013).

- [108]. Santesmases, M. (2012). *Marketing: Conceptos y Estrategias*, 6ª Edición. Ed. Pirámide, Madrid.
- [109]. ScanRope Marine AS (2012). “*Shipping ropes Catalogue*”, Tønsberg, Norway. Disponible en: <http://www.scanropemarine.com> (última consulta: 23 noviembre 2013).
- [110]. Scantrol (2012). “*Mooring Winch Control Catalogue*”, Bergen, Norway. Disponible en: <http://www.scantrol.no> (última consulta: 20 marzo 2014).
- [111]. Schellin, T. y Ostergaard, C. (1993). *The Vessel in Port: Mooring Problems*, Germanischer Lloyd, Hamburg, Germany. Disponible en: <http://202.114.89.60/resource> (última consulta: 20 diciembre 2011).
- [112]. SCHNEIDER (2012). “*Reforma Central Proa Dique 5*”. Schneider Electric España S.A., A Coruña.
- [113]. Seamanship International (2007). *Tanker Jetty Safety. Management of the Ship/Shore Interface*. Witherbys Publishing.
- [114]. Sears, Zemansky, Young y Freedman (1999). *Física Universitaria, Vol. I y II*, 12ª Ed., Editorial Pearson.
- [115]. Senel Technologies, S.A. (2014). “*Células de carga*”. Disponible en: <http://www.celulasdecarga.org> (última consulta: 10 mayo 2014).
- [116]. Servera, S., García, A. (2012). *Curso General de Formación de Actuantes en Emergencias Nucleares*. Consejo de Seguridad Nuclear. Ministerio del Interior. Disponible en: <http://www.csn.es> (última consulta: 10 marzo 2014).
- [117]. Serway, J. (1992). *Física para Ciencias e Ingeniería*, Editorial McGraw-Hill.
- [118]. SHIBATA (2012). “*Marine Products Catalogue*”. Shibata Industrial Co. Ltd., Tokyo, Japan. Disponible en: <http://www.shibata-asia.com> (última consulta: 12 agosto 2012).
- [119]. SRC (2013). “*Berth Regulations*”, Ed. 2013, Singapore Refining Company Private Limited. Disponible en: <http://www.src.com.sg> (última consulta: 12 octubre 2013).
- [120]. SUMITOMO (2012). “*New Selection of Fender*”. Sumitomo, Co., Japan. Disponible en: <http://ebookbrowse.net> (última consulta: 12 agosto 2012).
- [121]. Swiegers, P. (2011). “*Calculation of the forces on a moored ship due to a passing container ship*”, Stellenbosch University. Disponible en: <http://scholar.sun> (última consulta: 30 noviembre 2011).
- [122]. Talleres del Instituto Hidrográfico de la Marina (1993). *Derrotero de la costa NW de España que comprende desde la Estaca de Bares al Río Miño*, Servicio de Publicaciones de la Armada, 12ª Ed., Cádiz.
- [123]. Tamayo, F., Pulido, M. y García C. (2006). *Windows XP Professional (Serie Manuales Imprescindibles)*. Ed. Anaya Multimedia, 2006.
- [124]. Tipler, P. (1994). *Física para la Ciencia y la Tecnología*, Editorial Reverté.

- [125]. Ueda, S., Hirano, T., Shiraishi, S., Yamamoto, S. and Yamase, S. (2002). “*Statistical Design of Fenders for Berthing Ship*”. The International Society of Offshore and Polar Engineers, Japan. Disponible en: <http://e-book.lib.sjtu.edu> (última consulta: 05 julio 2012).
- [126]. UK P&I Club (2005). “*Take care when mooring*”, Stoploss Bulletin, U.K. Disponible en: <http://www.londonpandi.com> (última consulta: 20 julio 2013).
- [127]. UK P&I Club (2009). “*Risk Focus: Moorings*”, U.K. Disponible en: <http://www.nauticalplatform.org> (última consulta: 07 julio 2013).
- [128]. Vales, C. and Ramos, M.I. (2010). *Excel 2010*, Colección Manuales Imprescindibles, Grupo Anaya, Madrid.
- [129]. Vázquez, R. (2012). “*Análisis ciclón extratropical FLOORA 14 Enero de 2010*”. Meteogalicia. Santiago de Compostela. Disponible en: <http://www.meteovigo.es> (última consulta: 30 diciembre 2012).
- [130]. Velásquez, G. (2011). “*Guía básica para usar Irfanview*”. Taller de Periodismo Digital - UTP (Perú). Disponible en: <http://www.periodismoenlinea.net> (última consulta: 17 abril 2013).
- [131]. Vervloesem, W. (2009). *Mooring & Anchoring of Ships, Vol. 2: Inspection & Maintenance*, The Nautical Institute, London, UK.
- [132]. Wagoner, R. (1998). *Hazards Analysis of Petroleum Systems (HAPS): An adaptation of the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Technique*. AREYE Corporation. Texas, 1998.
- [133]. Wancheng Anchor Chain (2013). “*Anchor Chain & Ship Equipments Catalogue*”, Qingdao Wancheng Anchor Chain Co., LTD., China. Disponible en: <http://en.anchorchain.cn> (última consulta: 17 octubre 2012).
- [134]. Washington State, Department of Ecology (2001). “*Prevention Bulletin 01-02: The Arco Texas*”, Publication #01-08-006, U.S.A. Disponible en: <https://fortress.wa.gov> (última consulta: 07 septiembre 2013).
- [135]. Weinreich, N. (1999). *Hands on Social Marketing: A Step by Step Guide*, Thousand Oaks: Sage Publications.
- [136]. Yokohama Rubber Co., Ltd. (2008). *Manual para defensas de goma neumáticas YOKOHAMA*, FD 04, MB Overseas Sales Dept., Japón.

ARTÍCULOS DE PRENSA Y REVISTAS ESPECIALIZADAS

- [1]. Bernews (2012). Transport Minister On Norwegian Star Incident. Bernews, 14 septiembre. Disponible en: <http://bernews.com> (última consulta: 11 abril 2014).
- [2]. Bustabad, L. (2009). El plan de emergencia de Ferrol excluye la planta de gas. *El País*, 23 de Octubre. Disponible en: <http://elpais.com> (última consulta: 22 de enero 2014).
- [3]. Colmenero, R. (2010). El temporal arranca al Abel Matutes. *El Mundo*, 15 de Enero. Disponible en: <http://www.elmundo.es> (última consulta: 24 diciembre 2013).

-
- [4]. Donoghue, T. (2013). The huge pressure of broken moorings. *The Dominion Post*, 17 Julio. Disponible en: <http://www.stuff.co.nz> (última consulta: 24 diciembre 2013).
- [5]. EFE (2010). El viento llegó a dejar sin luz a 230.000 abonados. *La Voz de Galicia*, 14 Enero 2010. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 08 enero 2012).
- [6]. El Día (2005). El J.J. Sister rompió las amarras y hundió al remolcador Punta de Tarifa. *El Día*, 29 de Noviembre. Disponible en: <http://eldia.es> (última consulta: 24 diciembre 2013).
- [7]. El Periódico (2010). Muere una catalana al romperse la pasarela de un crucero en Génova. *El Periódico*, 24 de Julio. Disponible en: <http://www.elperiodico.com> (última consulta: 11 abril 2014).
- [8]. Fraga, X. (2009). Klaus pulverizó las marcas históricas de temporales en Galicia. *La Voz de Galicia*, 27 Enero 2009. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 08 enero 2012).
- [9]. Freedman, P. (2003). HAZOP como metodología de análisis de riesgos. *Petrotecnia*, Abril. Disponible en: <http://biblioteca.iapg.org.ar> (última consulta: 17 mayo 2014).
- [10]. La Voz de Galicia (2009). Noviembre del 2000. *La Voz de Galicia*, 29 Enero 2009. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 13 noviembre 2011).
- [11]. Mushtaq, F., Chung, H. (2000) A systematic HAZOP procedure for batch processes, and its application to pipelines plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 13(1), p. 41-48. Disponible en: <http://journals.ohiolink.edu> (última consulta: 22 mayo 2014).
- [12]. Nelson, M. (2013). Paran búsqueda de trabajador en mar de Alabama. *noticias.terra.es*, 4 de Abril. Disponible en: <http://noticias.terra.es> (última consulta: 24 diciembre 2013).
- [13]. Parra, S. (2002). Un accidente de difícil explicación. *La Voz de Galicia*, 13 Noviembre 2002. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 20 diciembre 2011).
- [14]. Redmill, F. (2002). Risk analysis: a subjective process. *Engineering Managemnt Journal*, Abril. P. 91-96.
- [15]. Reyes, J. (2010). El temporal desató un buque de Maersk con 15 portuarios a bordo. *andalucíainformación.es*, 15 de Enero. Disponible en: <http://andalucíainformacion.es> (última consulta: 24 diciembre 2013).
- [16]. Rolland, E. (2012). La cola del “Hortensia”. *La Voz de Galicia*, 16 Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 03 enero 2013).
- [17]. Schlechter, W. (1995). Process Risk Assessment – Using Science to “do it right”. *International Journal of Pressure Vessel and Piping*, vol. 61 (2-3), p. 479-494.
- [18]. Varela, F. (2011). Este año se celebrará el juicio por el siniestro del Discoverer Enterprise. *La Voz de Galicia*, 14 de Enero. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 24 diciembre 2013).

- [19]. Vázquez, M. (2011). La Xunta arremete contra Meteorología por no advertir sobre la intensidad del último temporal. *Faro de Vigo*, 11 de enero. Disponible en: <http://www.farodevigo.es> (última consulta: 08 enero 2012).
- [20]. Ventureira, R. (2006). El viento nunca había soplado a 115 por hora en septiembre. *La Voz de Galicia*, 21 Septiembre 2006. Disponible en: <http://www.lavozdeg Galicia.es> (última consulta: 28 diciembre 2011).
- [21]. Xiang-weil, M., Xue-ping, G., Wen-zhong, Z., Yun-peng, J. (2010). Experimental formula for the wave-induced ship mooring force. *Coastal Engineering*, núm. 32. Disponible en: <http://journals.tdl.org> (última consulta: 12 mayo 2013).

NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

- [1]. Agencia Estatal de Meteorología (2009). *Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (Meteoalerta)*. Edición 4.0. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en: <http://www.iaem.es> (última consulta: 21 julio 2012).
- [2]. Alonso, M. (2011). *Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX)*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención núm. 876. Disponible en: <http://www.insht.es> (última consulta: 13 marzo 2014).
- [3]. American Bureau of Shipping (2010). *Rules for Building and Classing Steel Vessels*. Port City Press, Inc. Baltimore.
- [4]. Autoridad Portuaria de Ferrol - San Cibrao (2010). *Prescripciones particulares del servicio portuario básico de practica en el puerto de Ferrol*, Puertos del Estado. Disponible en: <http://www.apfsc.com> (última consulta: 14 octubre 2012).
- [5]. Autoridad Portuaria de Ferrol – San Cibrao (2012). *Estudio de Seguridad del Puerto de Ferrol*. Puerto de Ferrol.
- [6]. Autoridad Portuaria de Ferrol – San Cibrao (2012). *Plan de Emergencia Interior y Autoprotección del Puerto de Ferrol*. Puerto de Ferrol.
- [7]. Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (2009). *Pliego de condiciones particulares para el ejercicio de la actividad de reparación de buques a flote*, Algeciras. Disponible en: <http://webserver.apba.es> (última consulta: 07 septiembre 2013).
- [8]. Autoritat Portuaria de Balears (2007). *Memoria de Proyecto Técnico para la construcción de bolardos para grandes cruceros en los muelles de Poniente*, Ports de Balears. Disponible en: <http://www.portsdebalears.com> (última consulta: 21 diciembre 2013).
- [9]. Bureau Veritas (2012). *Rules for the Classification of Steel Ships*. Disponible en: <http://www.veristar.com> (última consulta: 21 marzo 2013).

- [10]. Capitanía Marítima de Ferrol (2013). *Normas de Seguridad para la entrada, atraque, destraque y salida de grandes buques gaseros en la Ría de Ferrol*, Ministerio de Fomento. Disponible en: <http://cociudem.files.wordpress.com> (última consulta: 07 enero 2014).
- [11]. Consejería de Interior de la Comunidad Autónoma Illes Balears (2004). *Decreto 8/2004, de 23 de enero, por el que se desarrollan determinados aspectos de la Ley de Ordenación de Emergencias en las Illes Balears*, BOIB núm. 18/2004. Disponible en: <http://boib.caib.es> (última consulta: 08 diciembre 2013).
- [12]. Consellería de Presidencia, Administraciones Públicas y Justicia (2012). *Decreto 155/2012, de 5 de julio, por el que se regula la estructura y organización del Plan territorial de contingencias por contaminación marina accidental de la Comunidad Autónoma de Galicia. (Plan Camgal)*. D.O.G. núm. 137/2012. Disponible en: <http://www.xunta.es/dog> (última consulta: 12 febrero 2014).
- [13]. Consellería de Presidencia, Administracións públicas e Xusticia (2010). *Decreto 171/2010, de 1 de octubre, sobre planes de autoprotección en la Comunidad Autónoma de Galicia*. D.O.G. núm. 203/2010. Disponible en: <http://www.xunta.es/dog> (última consulta: 18 febrero 2014).
- [14]. Cortes Generales (1978). *Constitución Española*. B.O.E. núm. 311/1978. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 12 enero 2014).
- [15]. Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Igualdad de Oportunidades de la Comisión Europea (2003). *Guía de buenas prácticas para la aplicación relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas de la Directiva 1999/92/CE*. Disponible en: <http://www.insht.es> (última consulta: 14 marzo 2014).
- [16]. Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2011). *Riesgos Químicos. Metodologías de Análisis de Riesgos*. Ministerio del Interior. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org> (última consulta: 10 mayo 2014).
- [17]. Dirección Xeral de Protección Civil (2002). *Orde do 24 de xuño de 2002 pola que se dispón a aprobación e publicación do Plan de Protección Civil ante o Risco de Temporais en Galicia, homologado pola Comisión Galega de Protección Civil*. Consellería de Presidencia, Administracións Públicas e Xustiza. D.O.G. núm. 143/2002. Disponible en: <http://cpapx.xunta.es> (última consulta: 01 febrero 2014).
- [18]. Dirección Xeral de Protección Civil (2009). *Plan Territorial de Emerxencias de Galicia (PLATERGA)*. Consellería de Presidencia, Administracións Públicas e Xustiza. Disponible en: <http://www.coruna.es/bomberos> (última consulta: 07 febrero 2014).
- [19]. DNV (2009). *Offshore Mooring Steel Wire Ropes*, Offshore Standard Det Norske Veritas, DNV-OS-E304, Høvik, Norway. Disponible en: <http://www.dnv.com> (última consulta: 04 octubre 2013).

-
- [20]. EN 13411-3:2004+A1:2008 (2004). *Terminations for steel wire ropes - Safety - Part 3: Ferrules and ferrule-securing*, European Committee for Standardization, Brussels.
- [21]. EN 515:1993 (1993). *Aluminium and Aluminium Alloys. Wrought products. Temper designations*, European Committee for Standardization, Brussels.
- [22]. IACS (2005). *Requirements concerning Mooring, Anchoring and Towing*. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES, U.K. Disponible en: <http://www.iacs.org.uk> (última consulta: 18 agosto 2013).
- [23]. IEC 31010 (2009). *Risk management - Risk assessment techniques*. ISO, Geneva Switzerland.
- [24]. IMO (1994). *Resolution MSC.31(63) adopted on 23 May 1994. Regulation V/15-1. Emergency towing arrangements on tankers*. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1994. Disponible en: <http://www.imo.org> (última consulta: 14 julio 2013).
- [25]. IMO (1994). *Resolution MSC.35(63) adopted on 20 May 1994. Adoption of guidelines for emergency towing arrangements on tankers*. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1994. Disponible en: <http://www.imo.org> (última consulta: 14 julio 2013).
- [26]. IMO (2000). *SC 113 Emergency Towing Arrangements on Tankers - Prototype Test*. International Maritime Organization, Circular MSC/Circ.966, 30 May 2000. London. Disponible en: <http://www.imo.org> (última consulta: 14 julio 2013).
- [27]. IMO (2008). *Resolution MSC.256(84) adopted on 16 May 2008. Regulation 3-4- Emergency towing arrangements on tankers*. International Convention for the Safety of Life at Sea, 2008. Disponible en: <http://www.imo.org> (última consulta: 22 agosto 2013).
- [28]. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (2010). *Código Técnico de la Edificación (CTE - DB SE-A. Documento básico sobre Seguridad Estructural: Acero)*, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org> (última consulta: 21 septiembre 2012).
- [29]. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (2010). *Código Técnico de la Edificación (CTE - DB SE-C. Documento básico sobre Seguridad Estructural: Cimientos)*, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org> (última consulta: 29 septiembre 2012).
- [30]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2003). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de las atmósferas explosivas en el lugar de trabajo (R.D. 681/2003)*. Ministerio de Trabajo e Inmigración. Disponible en: <http://www.insht.es> (última consulta: 25 marzo 2014).
- [31]. ISGOTT (2006). *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 5ª Ed., Witherby & Co. Ltd., London.
- [32]. ISO 12236 (2006). *Geosynthetics - Static puncture test (CBR test)*, Geneva Switzerland.
- [33]. ISO 17357 (2002). *Ships and marine technology - High-pressure floating pneumatic rubber fenders*. Geneva Switzerland.

- [34]. ISO 31000 (2009). *Risk management - Principles and guidelines*. Geneva Switzerland.
- [35]. ISO 3730 (2012). *Shipbuilding and marine structures - Mooring winches*, 3rd Ed., Geneva Switzerland.
- [36]. ISO 3913 (1977). *Shipbuilding - Welded steel bollards*, Geneva Switzerland.
- [37]. Jefatura del Estado (1985). *Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil*. BOE núm. 22/1985. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 08 enero 2014).
- [38]. Jefatura del Estado (1995). *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales*. B.O.E. núm. 269/1995. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 13 enero 2014).
- [39]. Jefatura del Estado (2007). *Ley 17/2007, de 4 de julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad*, BOE núm. 160/2007. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 08 septiembre 2013).
- [40]. Ministerio de Ciencia y Tecnología (2002). *R.D. 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión*. BOE núm. 224/2002. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 18 noviembre 2012).
- [41]. Ministerio de Fomento (2000). *R. D. 1907/2000, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Reconocimientos Obligatorios para Garantizar la Seguridad de la Navegación de Determinados Buques de Pasaje*, BOE núm. 283/2000. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 24 septiembre 2013).
- [42]. Ministerio de Fomento (2001). *Orden de 23 de febrero de 2001 por la que se aprueba el Plan Nacional de Contingencias por contaminación marina accidental*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es> (última consulta: 12 febrero 2014).
- [43]. Ministerio de Fomento (2004). *R.D. 253/2004, de 13 de febrero, por el que se establecen medidas de prevención y lucha contra la contaminación en las operaciones de carga, descarga y manipulación de hidrocarburos en el ámbito marítimo y portuario*. BOE núm. 39/2004. Disponible en: <https://www.boe.es> (última consulta: 07 febrero 2014).
- [44]. Ministerio de Fomento (2005). *Orden FOM/555/2005, de 2 de marzo, por la que se establecen cursos de formación en materia de prevención y lucha contra la contaminación en las operaciones de carga, descarga y manipulación de hidrocarburos en el ámbito marítimo y portuario*. BOE núm. 60/2005. Disponible en: <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres> (última consulta: 08 enero 2014).
- [45]. Ministerio de Fomento (2010). *Plan Nacional de Seguridad y Salvamento Marítimo (2010 – 2018)*. Salvamento Marítimo. Disponible en: <http://www.salvamentomaritimo.es> (última consulta: 17 febrero 2014).

-
- [46]. Ministerio de Fomento (2011). *R. D. 800/2011, de 10 de junio, por el que se regula la investigación de los accidentes e incidentes marítimos y la Comisión permanente de investigación de accidentes e incidentes marítimos*, BOE núm. 139/2011. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 07 noviembre 2013).
- [47]. Ministerio de Fomento (2011). *R. D. L. 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante*, BOE núm. 253/2011. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 18 noviembre 2013).
- [48]. Ministerio de Gracia y Justicia (1889). *Real Decreto de 24 de julio de 1889 por el que se publica el Código Civil*, BOE núm. 206/1889, páginas 249 a 259. Disponible en: <https://www.boe.es> (última consulta: 25 noviembre 2013).
- [49]. Ministerio de Industria y Energía (1982). *R.D. 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación*, BOE núm. 288/1982. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 15 noviembre 2012).
- [50]. Ministerio de la Presidencia (1997). *R.D. 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo*, BOE núm. 188/1997. Disponible en: <https://www.boe.es> (última consulta: 07 octubre 2012).
- [51]. Ministerio de la Presidencia (2003). *R. D. 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo*. BOE núm. 145/2003. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 25 marzo 2014).
- [52]. Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno (1989). *R. D. 145/1989, de 20 de enero, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos*, BOE núm. 37/1989. Disponible en: <https://www.boe.es> (última consulta: 20 diciembre 2013).
- [53]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (1997). *R.D. 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo*. BOE núm. 97/1997. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 22 diciembre 2012).
- [54]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (2004). *R. D. 171/2004 por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades Empresariales*, BOE núm. 27/2004. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 18 diciembre 2013).
- [55]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (2006). *R.D. 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención*. BOE núm. 127/2006. Disponible en: <https://www.boe.es> (última consulta: 06 diciembre 2012).

- [56]. Ministerio del Interior (1992). *R.D. 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil*. B.O.E. núm. 105/1992. Disponible en: <http://www.coaat-se.es> (última consulta: 12 enero 2014).
- [57]. Ministerio del Interior (2007). *R.D. 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia*, BOE núm. 72/2007. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 15 octubre 2013).
- [58]. OCIMF (1978). *Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [59]. OCIMF (1981). *Report of Studies on Ship Drift and Towage*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [60]. OCIMF (1982). *Anchoring Systems and Procedures for Large Tankers*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [61]. OCIMF (1989). *Effective Mooring*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [62]. OCIMF (1993). *Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings*, 2ª Ed., Witherby's Publishing, London, UK.
- [63]. OCIMF (1994). *Prediction of Wind & Current Loads on VLCC's*, 2ª Ed., Witherby's Publishing, London, UK.
- [64]. OCIMF (2002). *Guidelines on the use of High-Modulus Synthetic Fibre Ropes as mooring lines on Large Tankers*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [65]. OCIMF (2002). *Recommendations for ship's fittings for use with tugs*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [66]. OCIMF (2003). *Health, Safety and Environment at New Building and Repair Shipyards and during Factory Acceptance Testing*. Oil Companies International Marine Forum, UK. Disponible en: <http://www.ocimf.com> (última consulta: 12 octubre 2013).
- [67]. OCIMF (2007). *Recommendations for Equipment Employed in the Bow Mooring of Conventional Tankers at Single Point Moorings*, Witherby's Publishing, London, UK.
- [68]. OCIMF (2008). *Marine Equipment Guidelines*, 3ª Ed., (MEG-3), Oil Companies International Marine Forum, Witherby Seamanship Int, Livingston, UK.
- [69]. OCIMF (2010). *Tanker - Shore Safety Check – List*. International Safety Guide Appendix 1 for Inland Navigation Tank-barges and Terminals. Oil Companies International Marine Forum, U.K. Disponible en: <http://www.isgintt.org> (última consulta: 20 septiembre 2013).
- [70]. OCIMF (2011). *Marine Terminal Particulars Questionnaire (MTPQ) Guidelines*. Oil Companies International Marine Forum, U.K. Disponible en: <http://www.ilta.org> (última consulta: 18 septiembre 2013).
- [71]. OCIMF and SIGTTO (2014). *Guide to Purchasing High Modulus Synthetic Fibre Mooring Lines*.

- [72]. OCIMF (2014). *SIRE Documents*. Oil Companies International Marine Forum, U.K. Disponible en: <http://www.ocimf.com> (última consulta: 20 noviembre 2013).
- [73]. OHSAS 18001. *Occupation Health and Safety Assessment Series for health and safety management systems*. Cheshire, U.S.A.
- [74]. OMI (2001). *Solas (Edición refundida de 2001)*, 3ª Ed., Organización Marítima Internacional, Londres.
- [75]. Parlamento Europeo y del Consejo (1999). *Directiva 1999/35/CE de 29 de abril sobre un régimen de reconocimientos obligatorio para garantizar la seguridad en la explotación de servicios regulares de transbordadores de carga rodada y naves de pasaje de gran velocidad*, DOUE núm. 1. Disponible en: <http://campusdomar.es/observatorio> (última consulta: 13 noviembre 2013).
- [76]. Parlamento Europeo y del Consejo (2009). *Directiva 2009/18/CE de 23 de abril por la que se establecen los principios fundamentales que rigen la investigación de accidentes en el sector del transporte marítimo y se modifican las Directivas 1999/35/CE del Consejo y 2002/59/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, DOUE núm. L 131/114. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu> (última consulta: 06 noviembre 2013).
- [77]. Ministerio de Fomento (1987). *Recomendaciones para Obras Marítimas y Portuarias (Programa normativo R.O.M.)*, Puertos del Estado. Disponible en: <http://www.puertos.es> (última consulta: 07 diciembre 2012).
- ROM 0.0-01, del Procedimiento General y las Bases de Cálculo en el Proyecto.
 - ROM 0.2-90. Acciones para Proyecto de Obra Marítimo-Portuaria.
 - ROM 0.3-91. Acción Climática (I): Oleaje. Anexo: Clima Marítimo del Litoral Español.
 - ROM 0.4-95, sobre las Acciones Climáticas para el Proyecto (II): Viento.
 - ROM 0.5-05, para Recomendaciones Geotécnicas en las Obras Marítimas.
 - ROM 0.5-94. Geotecnia en Proyecto de Obras Marítimo-Portuarias.
 - ROM 1.0-09, para los Diques de Abrigo contra las Oscilaciones del Mar.
 - ROM 2.0-08, sobre Muelles y otras Estructuras del Atraque o Amarre.
 - ROM 2.0-11, diseños y ejecución en Obras de Atraque y Amarre: Criterios generales y Factores del Proyecto.
 - ROM 3.1-99, Configuración Marítima: Canales del Acceso y Áreas de Flotación.
 - ROM 4.1-94, del Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios.
 - ROM 5.1-05, de la Calidad del Agua Litoral en las Áreas Portuarias.
- [78]. SIGGTO (2007). *Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers*, Society of International Gas Tanker & Terminal Operators Ltd., London. Disponible en: <http://www.sigtto.org> (última consulta: 20 junio 2012).
- [79]. U.N. (1982). *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar*. Disponible en: <http://www.un.org> (última consulta: 14 diciembre 2013).

- [80]. Vicepresidencia del Gobierno y Ministerio de la Presidencia (2008). *R.D.186/2008, de 8 de febrero, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia Estatal de Meteorología*, BOE núm. 39/2008. Disponible en: <http://www.boe.es> (última consulta: 03 enero 2014).

INTERNET

PÁGINAS WEB DE CONSULTA FRECUENTE

www.aapa-ports.org
www.aemet.es
www.apfsc.com
www.armada.mde.es
www.bp.com
www.ciaim.es
www.encyclopedia-juridica.biz14.com
www.energyinst.org.uk
www.fenecidadan.net
www.ferrol.es
www.fomento.gob.es
www.gard.no
www.gerro.com
www.gov.im/dti/marineadmin/
www.hypertextbook.com
www.imarest.org
www.intertanko.com
www.maib.gov.uk
www.marexlab.org
www.marin.nl
www.marineengineering.org.uk
www.marlowropes.co.uk
www.mavwaters.com
www.mcga.gov.uk
www.meteogalicia.es
www.ocimf.com
www.openjurist.org
www.portosdeg Galicia.es
www.proteccioncivil.org
www.ree.es

www.safetyatsea.se
www.sigtto.org
www.stepchangeinsafety.net
www.tensiontech.com
www.trelleborgbakker.com
www.vikingfender.com
www.wetterzentrale.de
www.wikipedia.org

SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

<http://www.iacs.org.uk> (IACS – International Association of Classification Societies)

Miembros de pleno derecho

www.eagle.org (ABS – American Bureau of Shipping)
www.veristar.com (BV – Bureau Veritas))
www.ccs.org.cn (CCS – China Classification Society)
www.dnv.com (DNV – Det Norske Veritas)
www.gl-group.com (GL – Germanischer Lloyd)
www.krs.co.kr (KRS – Korean Register of Shipping)
www.lr.org (LR – Lloyd’s Register off Shipping)
www.classnk.or.jp (NK – Nippon Kaiji Kyokai)
www.rina.org (RINA- Registro Italiano Navale)
www.rs-head.spb.ru (RS- Russian Maritime Register of Shipping)

Miembros asociados

www.crs.hr (CRS- Croatian Register of Shipping)
www.irclass.org (IRS – Indian Register of Shipping)

ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

www.imo.org [International Maritime Organization (IMO)]
www.rin.org.uk [Royal Institute of Navigation (RIN)]
www.impahq.org [International Maritime Pilots' Association (IMPA)]
www.empa-pilots.org [European Marine Pilots Association (EMPA)]
www.iaphworldports.org [International Association of Ports and Harbors (IAPH)]
www.wmu.se (World Maritime University)
www.rina.org.uk (The Royal Institution of Naval Architects)
www.maib.detr.gov.uk [Marine Accident Investigation Branch (MAIB)]

www.uscg.mil/hq/g-m/gmhome.htm [United States Coast Guard (USCG)]
www.nts.gov [United States National Transportation Safety Board (NTSB)]
www.atsb.gov.au [Australian Marine Incident Investigation Unit (MIIU)]
www.tsb.gc.ca (Transportation Safety Board of Canada)
www.sname.org (SNAME - Society of Naval Architects and Marine Engineers, USA)
www.marisec.org/ics/index.htm [International Chamber of Shipping (ICS)]
www.marine-salvage.com [International Salvage Union (ISU)]
www.iami.info [The International Association of Maritime Institutions (IAMI)]



ANEXO A

CÁLCULO DE AMARRE DEL BUQUE LNG “BAYELSA” AL MUELLE N° 14



MOORING ALONGSIDE BERTH NO.14 FERROL

Drawings and Calculations

LNG

BAYELSA



JUNE 2013

NAVANTIA SHIPREPAIRS FENE - FERROL



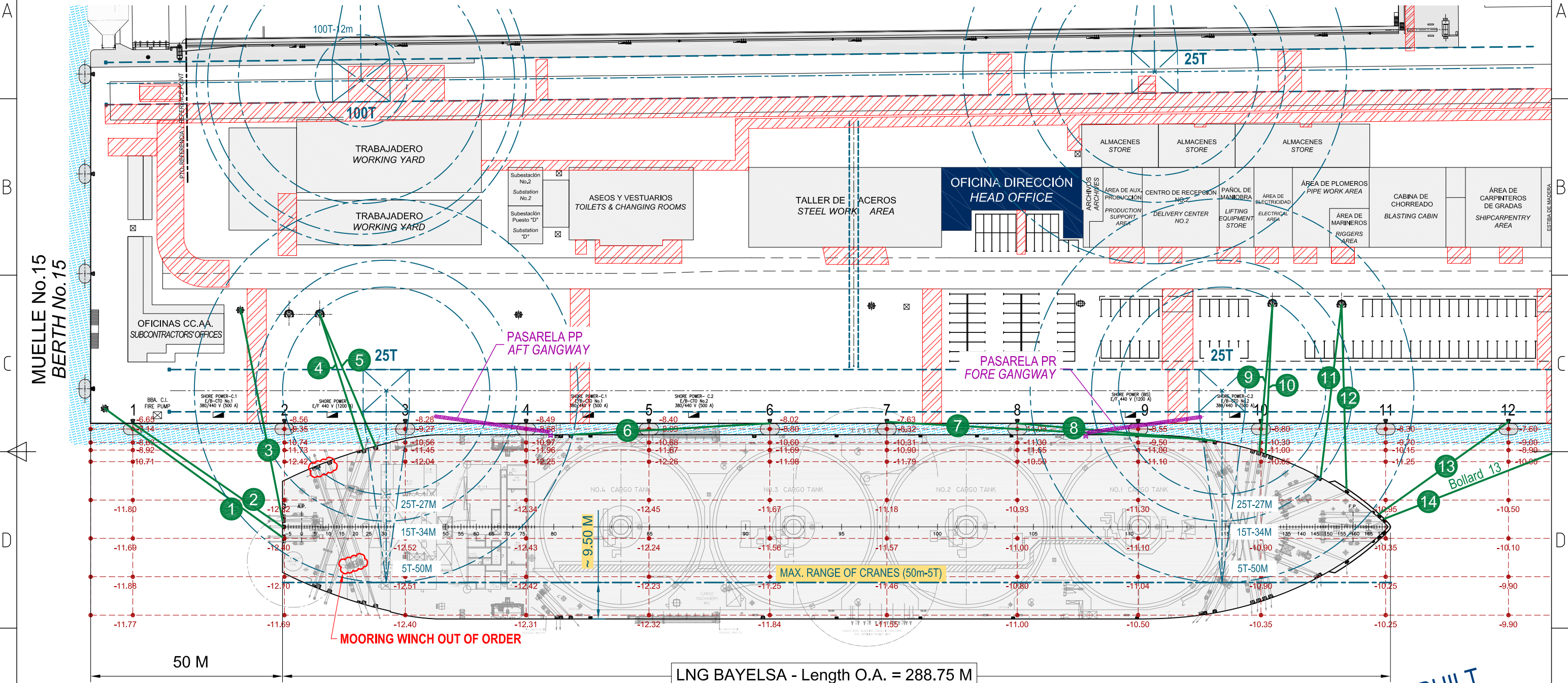


- I -

PLANOS

DRAWINGS


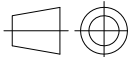
REV. NO.	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	FECHA DATE	FIRMA SIGNATURE	REVISADO REVISED
05	AS BUILT (REVISION AFTER WHARFAGE)	14 MARCH 2013	-	-



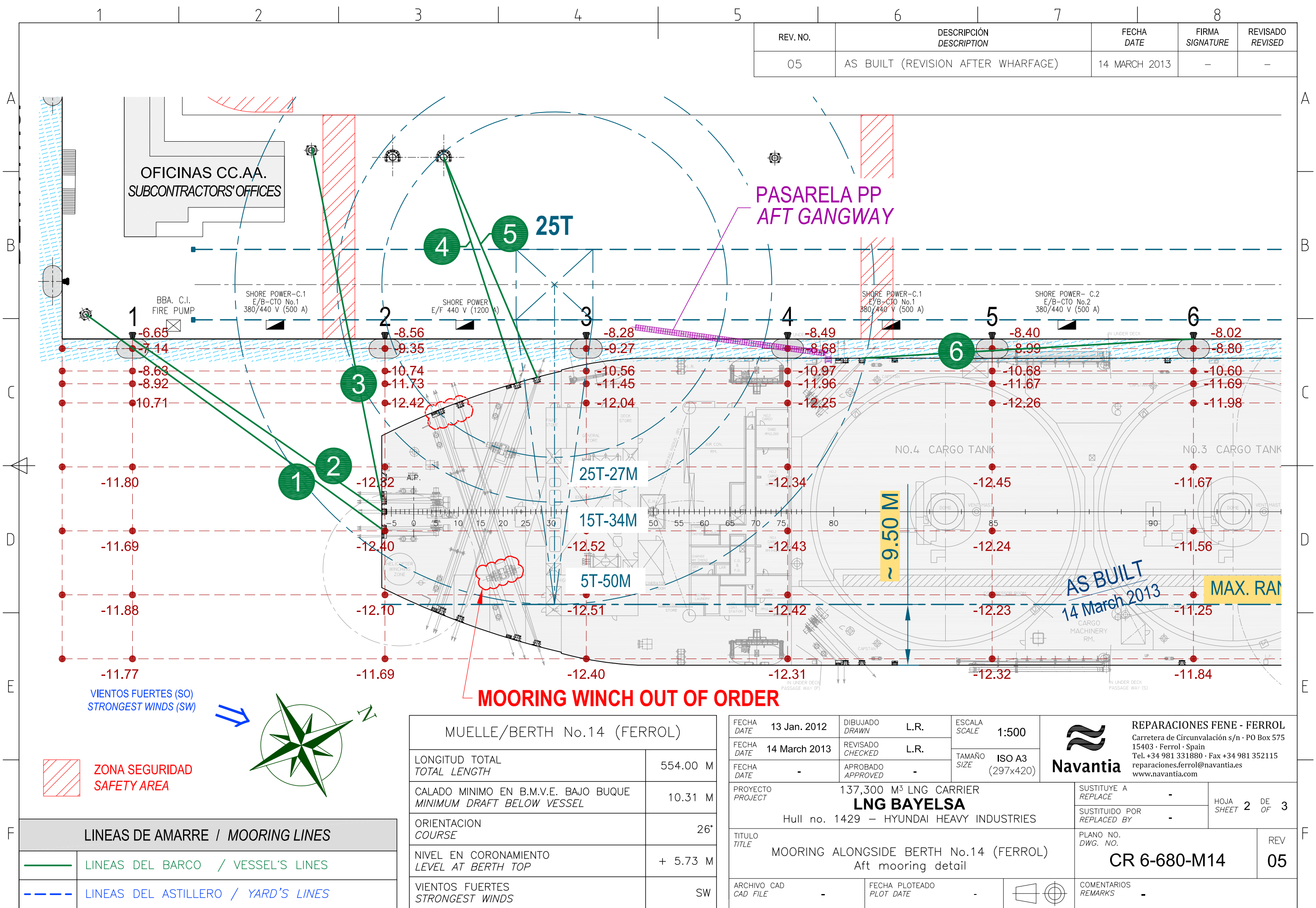
AS BUILT
14 March 2013

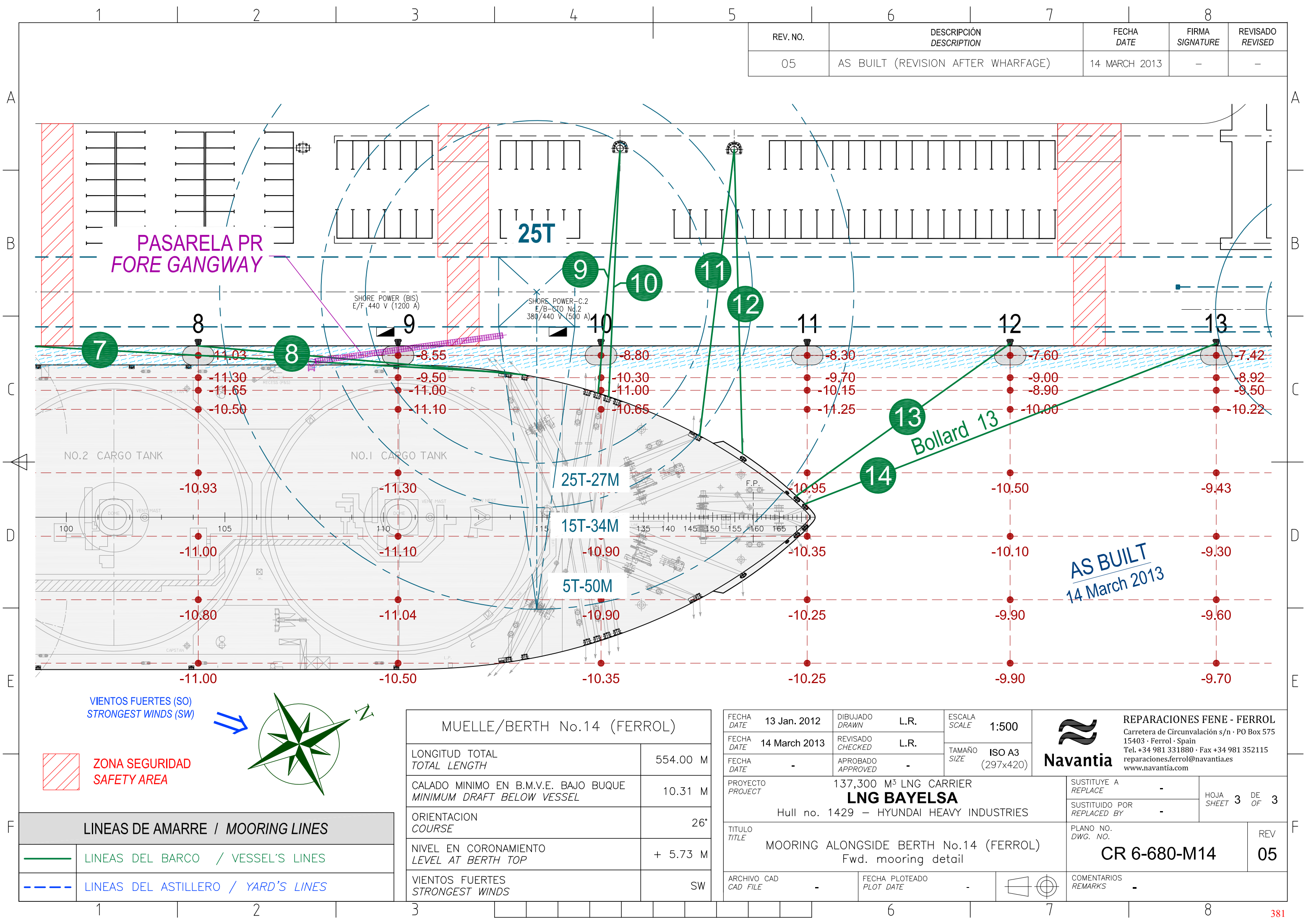
LINEAS DE AMARRE / MOORING LINES	
	LINEAS DEL BARCO / VESSEL'S LINES
	LINEAS DEL ASTILLERO / YARD'S LINES

MUELLE/BERTH No.14 (FERROL)	
LONGITUD TOTAL TOTAL LENGTH	554.00 M
CALADO MINIMO EN B.M.V.E. BAJO BUQUE MINIMUM DRAFT BELOW VESSEL	10.31 M
ORIENTACION COURSE	26°
NIVEL EN CORONAMIENTO LEVEL AT BERTH TOP	+ 5.73 M
VIENTOS FUERTES STRONGEST WINDS	SW

FECHA DATE	13 Jan. 2012	DIBUJADO DRAWN	L.R.	ESCALA SCALE	1:1000	 Navantia	REPARACIONES FENE - FERROL			
FECHA DATE	14 March 2013	REVISADO CHECKED	L.R.	TAMAÑO SIZE	ISO A3 (297x420)		Carretera de Circunvalación s/n · PO Box 575 15403 · Ferrol · Spain Tel. +34 981 331880 · Fax +34 981 352115 reparaciones.ferrol@navantia.es www.navantia.com			
FECHA DATE	-	APROBADO APPROVED	-							
PROYECTO PROJECT		137,300 M ³ LNG CARRIER LNG BAYELSA Hull no. 1429 – HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES				SUSTITUYE A REPLACE		-	HOJA SHEET 1 DE OF 3	
						SUSTITUIDO POR REPLACED BY		-		
TITULO TITLE		MOORING ALONGSIDE BERTH No.14 (FERROL) General view				PLANO NO. DWG. NO. CR 6-680-M14			REV 05	
ARCHIVO CAD CAD FILE		-		FECHA PLOTEADO PLOT DATE		-			COMENTARIOS REMARKS	-

REV. NO.	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	FECHA DATE	FIRMA SIGNATURE	REVISADO REVISED
05	AS BUILT (REVISION AFTER WHARFAGE)	14 MARCH 2013	-	-





REV. NO.	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	FECHA DATE	FIRMA SIGNATURE	REVISADO REVISED
05	AS BUILT (REVISION AFTER WHARFAGE)	14 MARCH 2013	-	-

MUELLE/BERTH No.14 (FERROL)	
LONGITUD TOTAL TOTAL LENGTH	554.00 M
CALADO MINIMO EN B.M.V.E. BAJO BUQUE MINIMUM DRAFT BELOW VESSEL	10.31 M
ORIENTACION COURSE	26°
NIVEL EN CORONAMIENTO LEVEL AT BERTH TOP	+ 5.73 M
VIENTOS FUERTES STRONGEST WINDS	SW

FECHA DATE	13 Jan. 2012	DIBUJADO DRAWN	L.R.	ESCALA SCALE	1:500
FECHA DATE	14 March 2013	REVISADO CHECKED	L.R.	TAMAÑO SIZE	ISO A3 (297x420)
FECHA DATE	-	APROBADO APPROVED	-		
PROYECTO PROJECT	137,300 M³ LNG CARRIER LNG BAYELSA Hull no. 1429 - HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES				
TÍTULO TITLE	MOORING ALONGSIDE BERTH No.14 (FERROL) Fwd. mooring detail				
ARCHIVO CAD CAD FILE	-	FECHA PLOTEADO PLOT DATE	-		

 Navantia		REPARACIONES FENE - FERROL Carretera de Circunvalación s/n · PO Box 575 15403 · Ferrol · Spain Tel. +34 981 331880 · Fax +34 981 352115 reparaciones.ferrol@navantia.es www.navantia.com	
SUSTITUYE A REPLACE		HOJA SHEET 3 DE OF 3	
SUSTITUIDO POR REPLACED BY			
-)	PLANO NO. DWG. NO.		REV
	CR 6-680-M14		05
	COMENTARIOS REMARKS		



- II -

DATOS GENERALES Y
GRÁFICO DE VIENTOS

*GENERAL DATA AND
WIND CHART*

DATOS GENERALES Y GRÁFICO DE VIENTOS
GENERAL DATA AND WIND CHART

DOCUMENTO / DOCUMENT

Fecha de emisión / Issue date :

18-jul-13

Revisión / Revision :

00

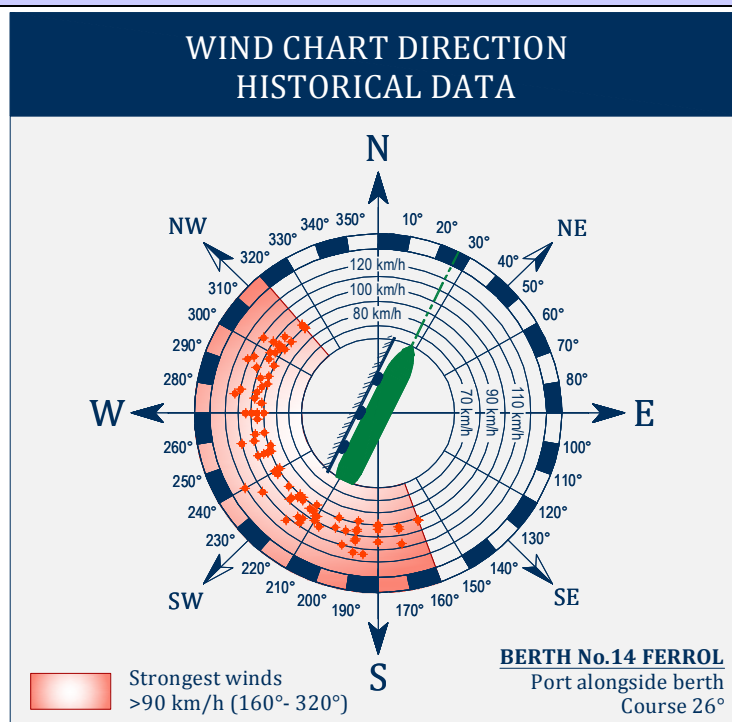
BUQUE / SHIP

Nombre buque : Vessel name :	LNG BAYELSA		Tipo / Type :	LNG TANKER	
Características pples.: Main Particulars:	ESLORA TOTAL LENGTH O.A.	ESLORA PP LENGTH PP	MANGA BREADTH	PUNTAL DEPTH	PESO MUERTO DEADWEIGHT
	289 m.	274 m.	48 m.	27 m.	79822 MT
Forma del buque: Ship's shape:	CUBIERTA CONVENCIONAL CONVENTIONAL DECK	ESFÉRICOS SPHERICAL	CON CUBIERTA ELEVADA (TRUNK) WITH TRUNK DECK		
		X			
Material de fabricación de las amarras: Mooring lines material:	Alambre / Wire		Polyamida / Polyamide	Sintéticas / Synthetic	
	X				

MUELLE / BERTH

Muelle : Berth :	14	Centro: Centre:	FERROL	Orientación : Course :	26 °
Características pples.: Main Particulars:	LONGITUD TOTAL LENGTH O.A.	CALADO EN B.M.V.E. DRAFT ON LOWEST W.L.	NIVEL EN CORONAMIENTO LEVEL AT BERTH TOP	VIENTOS FUERTES STRONGEST WINDS	
	554 m.	9 m.	+ 6,0 m.	DE SUR A NOROESTE FROM SOUTH TO NORTHWEST	
Costado de amarre: Side alongside:		BABOR A MUELLE PORT SIDE ALONGSIDE		ESTRIBOR A MUELLE STARBOARD SIDE ALONGSIDE	
		X			

VIENTOS / WINDS


GRÁFICO DE VIENTOS AEMET (Agencia Estatal de Meteorología)

Velocidad y dirección de vientos superiores a 90 km/h desde el año 1974 en Fene - Ferrol

WINDS CHART FROM AEMET (State Agency of Meteorology)

Velocity and direction of winds higher than 90 km/h since 1974 in Fene - Ferrol

LNG BAYELSA

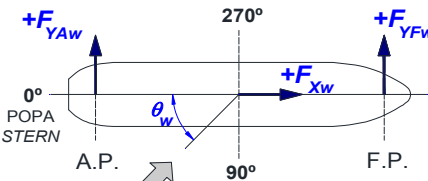


- III -

FUERZAS DEBIDAS AL
VIENTO Y CORRIENTE

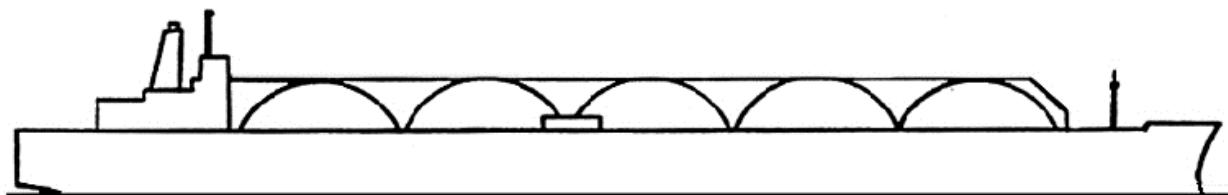
*WIND AND CURRENT
FORCES*

FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO
WIND FORCES ON THE SHIP
FUERZAS RESULTANTES / RESULTANT FORCES

			Fuerza longitudinal del viento <i>Longitudinal Wind Force</i>		$F_{Xw} = C_{Xw} (\rho_w / 7600) V_w^2 A_T$		
			Fuerza lateral del viento en la P.Pp. <i>Lateral Wind Force at the A.P.</i>		$F_{YAw} = C_{YAw} (\rho_w / 7600) V_w^2 A_L$		
			Fuerza lateral del viento en la P.Pr. <i>Lateral Wind Force at the F.P.</i>		$F_{YFw} = C_{YFw} (\rho_w / 7600) V_w^2 A_L$		
(ρ_w) Densidad del aire a 20°C <i>Air density at 20 °C</i>		0,1248 Kg.seg ² / m ⁴		(Vw) Velocidad del viento en nudos <i>Wind velocity in knots</i>		130 km/h	70 knots
(A_T) Area transversal emergida del casco <i>Above water lateral hull area</i>		1810 m ²		(A_L) Area longitudinal emergida del casco <i>Above water longitudinal hull area</i>		8686 m ²	
(C_{Xw}) Coeficiente longitudinal de la fuerza del viento <i>Longitudinal wind force coefficient</i>				(C_{YAw}) Coeficiente lateral de la fuerza del viento en la popa <i>Aft lateral wind force coefficient</i>			
(θ_w) Ángulo de ataque del viento <i>Wind angle of attack</i>				(C_{YFw}) Coeficiente lateral de la fuerza del viento en la proa <i>Forward lateral wind force coefficient</i>			

BUQUES CON TANQUES ESFÉRICOS / SHIPS WITH SPHERICAL TANKS

θ_w	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
Fuerza longitudinal / <i>Longitudinal wind force</i> (F_{Xw})																			
C_{Xw}	0,991	1,026	1,023	0,983	0,893	0,758	0,527	0,242	0,101	0,026	-0,035	-0,133	-0,288	-0,467	-0,651	-0,816	-0,911	-0,991	-1,026
F_{Xw}	145,13	150,26	149,82	143,96	130,78	111,01	77,18	35,44	14,79	3,81	-5,13	-19,48	-42,18	-68,39	-95,34	-119,50	-133,41	-145,13	-150,26
Fuerza lateral de Popa / <i>Lateral wind force Aft</i> (F_{YAw})																			
C_{YAw}	0,003	0,084	0,198	0,322	0,448	0,542	0,605	0,633	0,631	0,611	0,573	0,525	0,458	0,389	0,267	0,172	0,096	0,033	0,000
F_{YAw}	2,11	59,03	138,80	226,30	314,85	380,91	425,19	444,87	443,46	429,05	402,70	368,61	321,88	273,39	187,29	120,88	67,47	23,19	0,07
Fuerza lateral de Proa / <i>Lateral wind force Fore</i> (F_{YFw})																			
C_{YFw}	-0,003	0,018	0,052	0,102	0,184	0,266	0,343	0,421	0,493	0,549	0,587	0,609	0,606	0,557	0,421	0,294	0,182	0,081	0,000
F_{YFw}	-2,11	12,65	36,19	71,68	129,31	186,94	241,06	295,87	346,48	385,48	412,54	427,65	425,89	391,45	295,52	206,62	127,91	56,93	0,07
Fuerza lateral / <i>Lateral wind force</i> ($F_{Yw} = F_{YAw} + F_{YFw}$)																			
F_{Yw}	0,00	71,68	174,99	297,98	444,16	567,85	666,24	740,74	789,94	814,53	815,24	796,26	747,77	664,84	482,82	327,50	195,38	80,12	0,14



ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL
 MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL DIRECTION

Hacia popa / *Aft direction*

$F_{Xw} = 150$ MT

Hacia proa / *Fore direction*

$F_{Xw} = -150$ MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA
 MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN

$F_{YAw} = 445$ MT

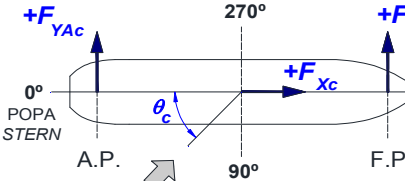
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA PROA
 MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD

$F_{YFw} = 428$ MT

FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DE LAS CORRIENTES MARINAS

MARINE CURRENT FORCES ON THE SHIP

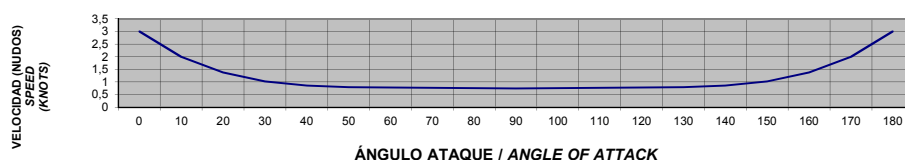
FUERZAS RESULTANTES / RESULTANT FORCES

		Fuerza longitudinal de la corriente Longitudinal Current Force	$F_{Xc} = C_{Xc} (\rho_c / 7600) V_c^2 d_c L_{BP}$
Fuerza lateral de la corriente en P.Pp. Lateral Current Force at the A.P.			$F_{YAc} = C_{YAc} (\rho_c / 7600) V_c^2 d_c L_{BP}$
Fuerza lateral de la corriente en P.Pr. Lateral Current Force at the F.P.			$F_{YFc} = C_{YFc} (\rho_c / 7600) V_c^2 d_c L_{BP}$
(ρ _c)	Densidad agua del mar Sea water density	1025 kg/m ³	(V _c) Velocidad corriente en nudos Current velocity in knots
		ACCORDING TO OCIMF (see figure)	
(C _{Xc})	Coeficiente longitudinal de la fuerza de la corriente Longitudinal current force coefficient		(C _{YAc} - C _{YFc}) Coeficiente lateral de la fuerza de la corriente Lateral current force coefficient
(θ _c)	Ángulo de ataque de corriente Current angle of attack	(d _c) Calado medio Draft at Center Line	(L _{BP}) Eslora entre perpendiculares Length between PP

FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DE LAS CORRIENTES MARINAS / MARINE CURRENT FORCES ON THE SHIP

θ _c	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
V _c	3,00	2,00	1,38	1,03	0,86	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,86	1,03	1,38	2,00	3,00

VELOCIDAD DE CORRIENTE SI OCIMF / CURRENT SPEED ACCORDING TO OCIMF



Fuerza longitudinal / Longitudinal current force (F_{Xc})

C _{Xc}	0,055	0,059	0,061	0,061	0,052	0,038	0,022	0,013	0,009	0,007	0,004	0,001	-0,006	-0,021	-0,036	-0,049	-0,047	-0,043	-0,037
F _{Xc}	13,72	6,54	3,22	1,79	1,07	0,66	0,37	0,22	0,14	0,11	0,06	0,02	-0,10	-0,37	-0,74	-1,44	-2,48	-4,77	-9,23

Fuerza lateral de Popa / Lateral current force Aft (F_{YAc})

C _{YAc}	0,000	0,056	0,139	0,239	0,340	0,420	0,476	0,508	0,513	0,495	0,462	0,411	0,338	0,270	0,198	0,124	0,061	0,025	0,000
F _{YAc}	0,00	6,21	7,34	7,02	6,99	7,31	8,06	8,43	8,26	7,72	7,43	6,82	5,72	4,71	4,08	3,63	3,20	2,72	0,00

Fuerza lateral de Proa / Lateral current force Fore (F_{YFc})

C _{YFc}	0,000	0,026	0,069	0,127	0,196	0,258	0,326	0,388	0,445	0,485	0,506	0,513	0,488	0,422	0,328	0,222	0,127	0,055	0,000
F _{YFc}	0,02	2,88	3,65	3,73	4,03	4,49	5,52	6,44	7,16	7,56	8,13	8,51	8,26	7,36	6,75	6,50	6,68	6,04	0,02

Fuerza lateral / Lateral current force (F_{Yc} = F_{YAc} + F_{YFc})

F _{Yc}	0,02	9,09	10,99	10,75	11,02	11,80	13,57	14,86	15,42	15,28	15,56	15,33	13,98	12,06	10,83	10,13	9,88	8,76	0,02
-----------------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL DIRECTION

Hacia popa / Aft direction

F_{Xw} = -9 MT

Hacia proa / Fore direction

F_{Xw} = 14 MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN

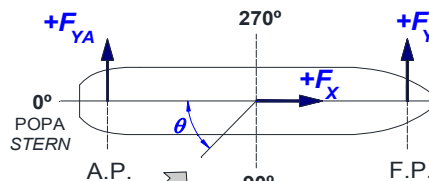
F_{YAw} = 8 MT

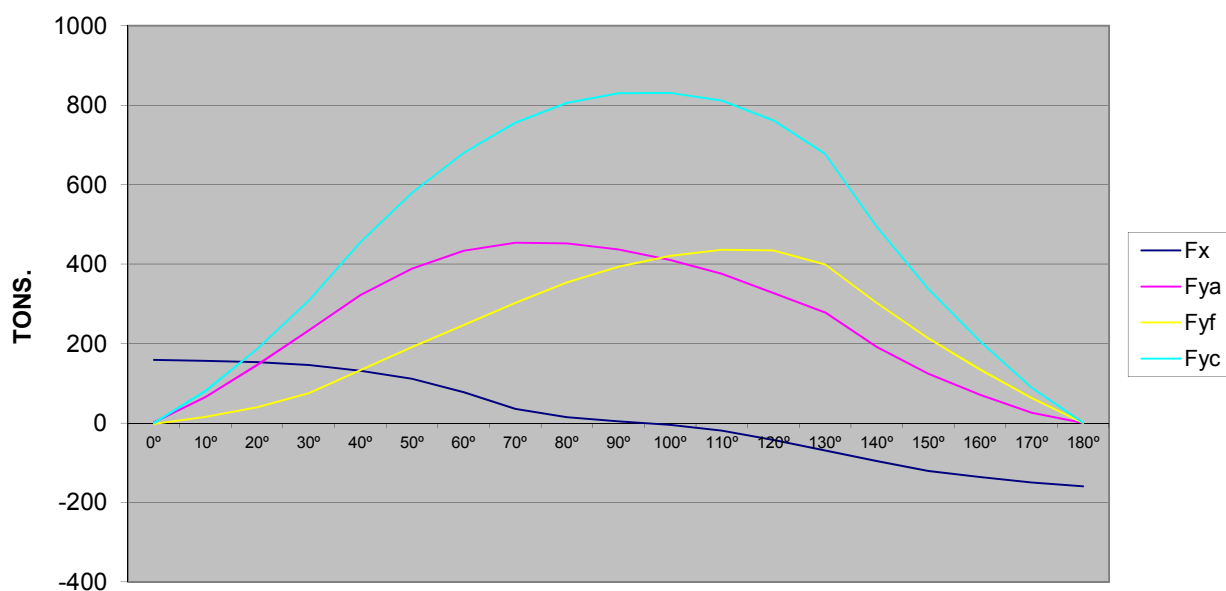
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD

F_{YFw} = 9 MT

FUERZAS TOTALES DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO Y CORRIENTE
TOTAL FORCES ON THE SHIP (WIND + CURRENT)

FUERZAS RESULTANTES / RESULTANT FORCES

								Fuerza longitudinal total (viento + corriente) Total Longitudinal Force (wind + current)								$F_X = F_{Xw} + F_{Xc}$				
								Fuerza lateral total en P.Pp. (viento + corriente) Total Lateral Force at the A.P. (wind + current)								$F_{YA} = F_{YAw} + F_{YAc}$				
								Fuerza lateral total en P.Pr. (viento + corriente) Total Lateral Force at the F.P. (wind + current)								$F_{YF} = F_{YFw} + F_{YFc}$				
θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
Fuerza longitudinal / Longitudinal force (F_X)																				
F_X	159	157	153	146	132	112	78	36	15	4	-5	-19	-42	-69	-96	-121	-136	-150	-159	
Fuerza lateral de Popa / Lateral current force Aft (F_{YA})																				
F_{YA}	2	65	146	233	322	388	433	453	452	437	410	375	328	278	191	125	71	26	0	
Fuerza lateral de Proa / Lateral current force Fore (F_{YF})																				
F_{YF}	-2	16	40	75	133	191	247	302	354	393	421	436	434	399	302	213	135	63	0	
Fuerza lateral / Lateral current force ($F_Y = F_{YA} + F_{YF}$)																				
F_{Yc}	0	81	186	309	455	580	680	756	805	830	831	812	762	677	494	338	205	89	0	



ÁNGULO DE ATAQUE (ANGLE OF ATTACK)

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL
MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL DIRECTION

Hacia popa / Aft direction

$F_{Xw} = -159$ MT

Hacia proa / Fore direction

$F_{Xw} = 159$ MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA POPA
MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE STERN

$F_{YAw} = 453$ MT

ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL EN LA PROA
MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD

$F_{YFw} = 436$ MT



- IV -

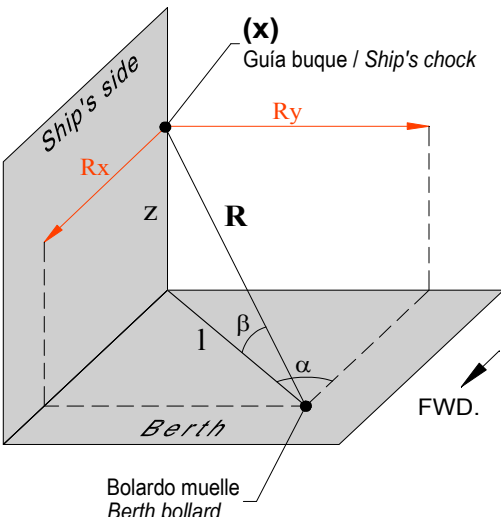
CÁLCULO
DEL AMARRE

*MOORING
CALCULATION*

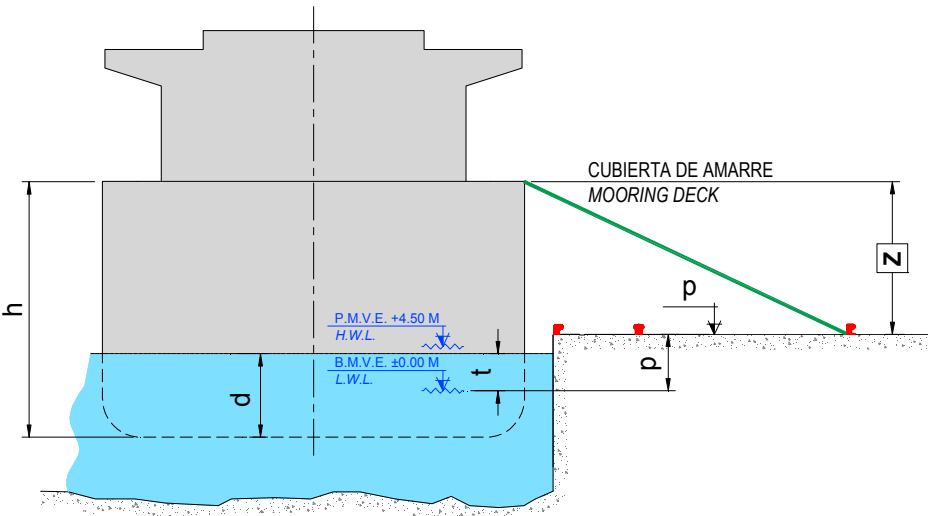
CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION

FUERZAS RESULTANTES Y SECCIÓN TRANSVERSAL
RESULTANT FORCES AND TRANSVERSE SECTION

FUERZAS RESULTANTES / RESULTANT FORCES

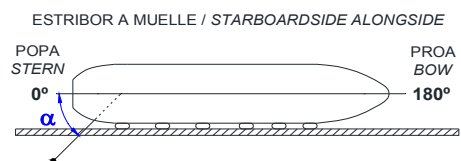
	R	Línea de amarre Mooring line
	R_y	Componente transversal de la línea de amarre Transverse component of the mooring line
	R_x	Componente longitudinal de la línea de amarre Longitudinal component of the mooring line
	z	Altura desde guía del buque al bolardo del muelle Height from ship's chock to berth bollard
	l	Longitud de la proyección horizontal de la línea Length of line horizontal projection
	α	Ángulo horizontal que forma la línea de amarre con el costado del buque Horizontal angle of the line to the ship's side
	β	Ángulo vertical que forma la línea de amarre con el muelle Vertical angle of the line to the berth
$R_x = R \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha = R \cdot \cos (\arctg z/l) \cdot \cos \alpha$		$R_y = R \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha = R \cdot \cos (\arctg z/l) \cdot \sin \alpha$

SECCIÓN TRANSVERSAL / TRANSVERSE SECTION

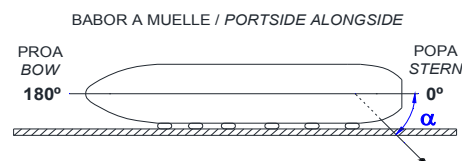
						MUELLE NO. BERTH NO.		14			
						CENTRO CENTRE		FERROL			
						MÁX. CARRERA DE MAREA MAX. TIDAL RANGE					
						4.50 M					
						B.M.V.E. ANNUAL LOWEST TIDE		0,00 m			
		7.16 m (1*)									
P.M.V.E. ANNUAL HIGHEST TIDE		4,50 m									
		11.66 m (1*)									
PLEAMAR CONSIDERADA PARA EL CÁLCULO HIGHEST TIDE CONSIDERED IN THE CALCULATION						11,66 m		(*1)	Marea en tablas del Astillero Tide at Yard's table		
h		Puntal a la cubierta de amarre Depth to mooring deck				z		Elevación de la cubierta de amarre sobre muelle Mooring deck rise above berth			
CALADOS EN ATRAQUE / BERTH DRAFTS						p		Nivel del coronamiento del muelle Berth top level		+ 6,00 m	
Popa / Aft		Medio / Mean		Proa / Fore							
d _A		8,00		d _C		7,50		d _F		7,00 m	
						t		Pleamar considerada para el cálculo Top tide used for the calculation		+ 4,50 m	

CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION

TABLA DE LINEAS DE AMARRE / MOORING LINES TABLE



CRITERIO DE MEDIDA DEL ÁNGULO α
CRITERIAL FOR α MEASUREMENT

[illegible]

LNG BAYELSA

Mooring alongside berth no.14 FERROL

Rev.00

IV - MOORING CALCULATION

CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION

CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN POPA

AFT TRANSVERSE RESTRAINT CAPACITY

[illegible]

CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION

CAPACIDAD DE RESISTENCIA TRANSVERSAL EN PROA

FORE TRANSVERSE RESTRAINT CAPACITY

Línea Line No.	Cant./ Qty.	MBL	Suminist. por: Supplied by:	Pos. long. Long. pos (x)	Puntal Depth (h)	l	α	Calado Draft (d)	z	β	R	R _x	R _y
9	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	38,30 m	95°	7,00 m	18,30 m	26°	126 MT	-10 MT	113 MT
10	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	38,80 m	93°	7,00 m	18,30 m	25°	126 MT	-6 MT	114 MT
11	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	45,40 m	97°	7,00 m	18,30 m	22°	126 MT	-14 MT	116 MT
12	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	47,90 m	88°	7,00 m	18,30 m	21°	126 MT	4 MT	118 MT
13	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	41,40 m	145°	7,00 m	18,30 m	24°	126 MT	-94 MT	66 MT
14	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	69,60 m	159°	7,00 m	18,30 m	15°	126 MT	-114 MT	44 MT
TOTAL (Ry)			SUMA / ADDITION (Ry)								570 MT		
			RESISTENCIA TENIENDO EN CUENTA LA PRETENSIÓN DE LAS AMARRAS RESISTANCE HAVING IN ACCOUNT MOORING LINES PRETENSION								513 MT		
			PORCENTAJE DE CARGA DE LAS LÍNEAS DE AMARRE LOAD PERCENTAGE OF MOORING LINES								85%		
Coeficiente de seguridad de acuerdo con OCIMF / Safety coefficient according to OCIMF									55 %		282 MT		
VELOCIDAD DEL VIENTO QUE PODRÍAN SOPORTAR LAS LÍNEAS EXISTENTES MAXIMUM WIND VELOCITY THAT EXISTING MOORING LINES COULD SUPPORT										104 km/h		56 knots	
ÁNGULO DE ATAQUE CRÍTICO DEL VIENTO CON RESPECTO A LA POPA WIND CRITICAL ANGLE IN REFERENCE TO THE AFT										110°			
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN SENTIDO TRANSVERSAL EN PROA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT TRANSVERSE DIRECTION ON THE HEAD										F _{YA} = 436 MT			
VELOCIDAD DEL VIENTO MÁXIMA QUE DEBERÁN SOPORTAR LAS LINEAS MAXIMUM WIND VELOCITY ON THE LINES										V _w = 130 km/h			

CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION
CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA POPA
LONGITUDINAL RESTRAINT CAPACITY AGAINST AFT MOTION

Línea Line No.	Cant./ Qty.	MBL	Suminist. por: Supplied by:	Pos. long. Long. pos (x)	Puntal Depth (h)	l	α	Calado Draft (d)	z	β	R	R _x	R _y
6	1	126 T	SHIP	AFT	26,50 m	51,90 m	177°	8,00 m	17,00 m	18°	126 MT	-120 MT	6 MT
13	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	41,40 m	145°	7,00 m	18,30 m	24°	126 MT	-94 MT	66 MT
14	1	126 T	SHIP	FORE	26,80 m	69,60 m	159°	7,00 m	18,30 m	15°	126 MT	-114 MT	44 MT
TOTAL (R _x)			SUMA / ADDITION (R _x)								328 MT		
			RESISTENCIA TENIENDO EN CUENTA LA PRETENSIÓN DE LAS AMARRAS RESISTANCE HAVING IN ACCOUNT MOORING LINES PRETENSION								295 MT		
			PORCENTAJE DE CARGA DE LAS LÍNEAS DE AMARRE LOAD PERCENTAGE OF MOORING LINES								54%		
Coeficiente de seguridad de acuerdo con OCIMF / Safety coefficient according to OCIMF									55 %		162 MT		
VELOCIDAD DEL VIENTO QUE PODRÍAN SOPORTAR LAS LÍNEAS EXISTENTES MAXIMUM WIND VELOCITY THAT EXISTING MOORING LINES COULD SUPPORT										131 km/h		71 knots	
ÁNGULO DE ATAQUE CRÍTICO DEL VIENTO CON RESPECTO A LA POPA WIND CRITICAL ANGLE IN REFERENCE TO THE AFT										180°			
ESFUERZO MÁXIMO AL QUE ESTARÁ SOMETIDO EL BUQUE EN EL SENTIDO LONGITUDINAL HACIA POPA MAXIMUM LOAD ON THE SHIP AT LONGITUDINAL AFT DIRECTION										F _x = -159 MT			
VELOCIDAD DEL VIENTO MÁXIMA QUE DEBERÁN SOPORTAR LAS LINEAS MAXIMUM WIND VELOCITY ON THE LINES										V _w = 130 km/h			

CÁLCULO DEL AMARRE / MOORING CALCULATION
CAPACIDAD DE RESISTENCIA LONGITUDINAL AL DESPLAZAMIENTO HACIA PROA
LONGITUDINAL RESTRAINT CAPACITY AGAINST FORWARD MOTION

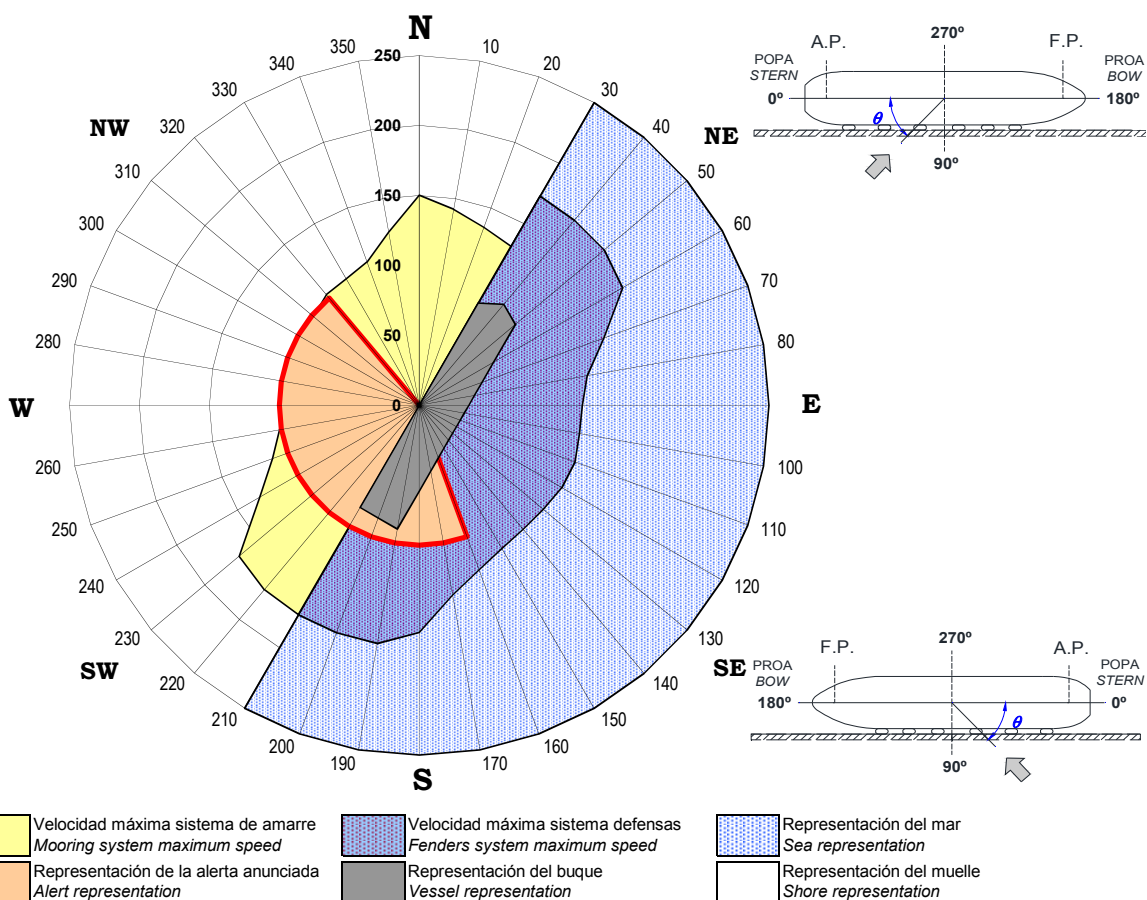
[illegible]

EVALUACIÓN DE VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES.
EVALUATION OF MAXIMUM WIND SPEEDS ALLOWED.
VELOCIDADES MÁXIMAS DE VIENTO SISTEMA DE AMARRAS / MOORING SYSTEM - MAXIMUM WIND SPEEDS

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
Dirección longitudinal / Longitudinal direction																			
V_{\max} (km/h)	173	172	174	177	186	203	243	359	555	1095	731	375	255	200	169	151	142	135	131
Sistema de traveses de Popa / Aft breast system																			
V_{\max} (km/h)	1385	258	168	132	112	101	96	94	94	95	99	103	111	120	146	181	243	415	7584
Sistema de traveses de Proa / Fore breast system																			
V_{\max} (km/h)	1504	611	361	256	191	158	139	126	116	110	106	104	104	109	126	150	191	286	8240
Conjunto del sistema de amarre / Global mooring system																			
V_{\max} (km/h)	173	172	168	132	112	101	96	94	94	95	99	103	104	109	126	150	142	135	131

REPRESENTACIÓN DE LA ALERTA / WIND ALERT GRAPHIC REPRESENTATION

LÍMITE INFERIOR DEL SECTOR DE ALERTA ALERT SECTOR - LOWER LIMIT	160°	VELOCIDAD MÁXIMA ANUNCIADA MAXIMUM SPEED EXPECTED	100	km/h
LÍMITE SUPERIOR DEL SECTOR DE ALERTA ALERT SECTOR - UPPER LIMIT	320°			


REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE DEFENSAS / FENDERS SYSTEM REPRESENTATION

NÚMERO DE DEFENSAS ENTRE CUAD. MAESTRA Y PROA NUMBER OF FENDERS BETWEEN MIDSECTION AND FORWARD	3	FACTOR DE SEGURIDAD SAFETY FACTOR	1,5
NÚMERO DE DEFENSAS ENTRE CUAD. MAESTRA Y POPA NUMBER OF FENDERS BETWEEN MIDSECTION AND AFT	3		

VELOCIDADES MÁXIMAS DE VIENTO SISTEMA DE DEFENSAS / FENDERS SYSTEM - MAXIMUM WIND SPEEDS

θ	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	360°
Sistema de defensas en Popa / Aft fenders system																			
V_{\max} (km/h)		510	299	223	179	148	136	127	122	118	116	116	118	125	138	162	207	318	
Sistema de defensas en Proa / Fore fenders system																			
V_{\max} (km/h)		320	213	168	140	122	117	116	119	123	129	140	156	177	213	286	403	682	
Conjunto del sistema de defensas / Global fenders system																			
V_{\max} (km/h)		320	213	168	140	122	117	116	119	118	116	116	118	125	138	162	207	318	